



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101933814 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 25

(21) 申请号 201010185453. 8

(22) 申请日 2010. 05. 20

(30) 优先权数据

12/494, 184 2009. 06. 29 US

(73) 专利权人 信飞系统公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 阿尔伯特·W·魏格纳

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

代理人 王茂华 黄耀钧

(51) Int. Cl.

A61B 8/00 (2006. 01)

审查员 方炜园

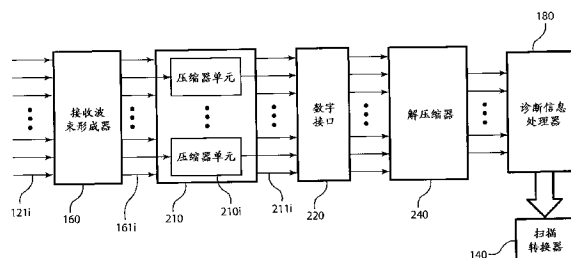
权利要求书 5 页 说明书 18 页 附图 23 页

### (54) 发明名称

超声系统中的波束形成后压缩

### (57) 摘要

在对接收到的超声信号样本应用波束形成器以形成由波束形成样本的阵列代表的一个或多个波束的超声成像系统中,一种方法和装置独立于其他阵列而压缩波束形成样本的每个阵列以形成压缩的波束。多个模拟到数字转换器采样由换能器阵列所产生的多个模拟超声信号以将多个超声信号样本流提供给波束形成器。压缩的波束经由数字接口传输至信号处理器。在信号处理器处,对压缩的波束进行解压缩以形成解压缩的波束。信号处理器进一步处理解压缩的波束用于供诊断成像(比如B-模式和多普勒成像)以及扫描转换,以准备生成的用以显示的超声图像。此摘要不限定如权利要求中所描述的本发明的范围。



1. 一种在超声成像系统中处理波束的方法,所述超声成像系统包括应用到在采样窗口期间接收的多个超声信号样本序列以形成一个或多个波束的接收波束形成器,其中每个波束由波束形成样本的阵列代表,其中在采样窗口期间由多个超声换能器元件所输出的多个模拟超声信号的模拟到数字转换产生多个超声信号样本序列,所述方法包括:

压缩通过对在所述采样窗口期间接收到的超声信号样本应用所述接收波束形成器而产生的波束以形成压缩的波束,包括压缩代表特定波束的阵列中的波束形成样本以形成相应的压缩波束的压缩的波束形成样本,其中压缩所述阵列中的特定波束形成样本部分取决于所述阵列中的至少一个其他波束形成样本的特征,其中每个波束独立于对应于所述采样窗口的另一波束而进行压缩;以及

跨越数字接口向信号处理器传输压缩的波束。

2. 根据权利要求1的方法,其中在压缩步骤之前,将所述波束形成样本的阵列下变频转换到中间频率或者基带。

3. 根据权利要求1的方法,进一步包括:

解压缩接收自所述数字接口的相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本的至少一部分,以形成相应的解压缩的波束的解压缩的波束形成样本,其中独立于另一压缩的波束将解压缩应用到所述相应的压缩的波束,其中所述信号处理器进一步处理所述解压缩的波束形成样本。

4. 根据权利要求1的方法,其中压缩步骤对代表特定波束的波束形成样本阵列应用块浮点编码,以形成所述相应的压缩的波束。

5. 根据权利要求4的方法,进一步包括:

通过对所述相应的压缩的波束的相应部分应用块浮点解码来解压缩接收自所述数字接口的所述压缩的波束形成样本的至少一部分,以形成解压缩的波束的解压缩的波束形成样本,其中所述信号处理器进一步处理所述解压缩的波束形成样本。

6. 根据权利要求1的方法,其中压缩步骤进一步包括:

定义对应于所述特定波束的波束形成样本的阵列中连续的波束形成样本组,每组具有预设数量的波束形成样本;

确定在组中具有最大幅度的波束形成样本的指数值;

对所述组的所述指数值进行编码以形成指数令牌;

形成具有减少的比特数量的尾数来代表所述组中的每个波束形成样本,其中比特的减少的数量基于所述指数值,以及

使用所述指数令牌和预设数量的尾数来代表所述组的压缩的波束形成样本,以形成相应的压缩组,其中多个压缩组形成所述相应的压缩的波束。

7. 根据权利要求6的方法,其中形成尾数的步骤进一步包括:

通过截断或舍入所述波束形成样本而从所述组中的每个波束形成样本中去除一定数量的最不重要比特 LSB,以形成减少的尾数,其中去除的 LSB 的数量基于所述指数值,其中代表所述压缩的波束形成样本的步骤使用所述指数令牌和所述预设数量的减少的尾数来形成所述相应的压缩组。

8. 根据权利要求6的方法,其中所述接收波束形成器产生 J 个波束,其中 J 至少是 2,其中相应波束的波束形成样本的组按照原始组次序,所述方法进一步包括:

复用对应于所述 J 个波束的压缩组,以形成 M 个压缩组的复用序列,其中 M 小于 J,包括交错对应于至少两个压缩的波束的集合的压缩组以形成相应的复用的序列,其中所述相应的复用的序列中的压缩组按照组次序布置,其中传输步骤传输所述 M 个复用的序列。

9. 根据权利要求 8 的方法,进一步包括:

解压缩接收自所述数字接口的所述相应的复用的序列的压缩组,以形成包含解压缩的波束形成样本的解压缩组,其中所述解压缩组按照相应的复用的序列的组次序;以及

解复用相应的复用的序列的解压缩组,以形成对应于所述压缩的波束的集合的解压缩的波束的集合,包括根据所述组次序重新布置所述解压缩组以将原始组次序恢复至所述解压缩的波束,其中将所述解压缩的波束提供用于进一步的信号处理。

10. 根据权利要求 6 的方法,进一步包括:

通过选择用于解压缩的相应的压缩组来解压缩接收自所述数字接口的所述压缩的波束形成样本的至少一部分,以形成提供用于进一步信号处理的相应的解压缩的波束形成样本组。

11. 一种在超声成像系统中处理波束的方法,所述超声成像系统包括应用到在采样窗口期间接收到的多个超声信号样本序列以形成一个或多个波束的接收波束形成器,其中每个波束由波束形成样本的阵列代表,其中在所述采样窗口期间由多个超声换能器元件输出的多个模拟超声信号的模拟到数字转换产生多个超声信号样本序列,所述方法包括:

压缩通过对在采样窗口期间接收到的超声信号样本应用接收波束形成器而形成的波束,以形成压缩的波束,所述压缩包括:

计算代表特定波束的阵列中的连续的波束形成样本之间的差分,以形成相应的差分样本序列,其中所述差分为一阶或更高阶差分;以及

编码相应的差分样本序列,以形成相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本;以及跨越数字接口向信号处理器传输所述压缩的波束。

12. 根据权利要求 11 的方法,其中在压缩步骤之前,将波束形成样本的阵列下变频转换至基带或者中间频率。

13. 根据权利要求 11 的方法,其中计算差分的步骤进一步包括:

计算在由预设数量的采样间隔所分隔的阵列中的波束形成样本对中的波束形成样本之间的差分,以形成相应的差分样本序列;以及

编码所述相应的差分样本序列,以形成所述相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本。

14. 根据权利要求 13 的方法,进一步包括:

在计算差分的步骤之前,依据逆转控制参数,选择性地逆转由预设数量的采样间隔所分隔的每一对波束形成样本中的一个波束形成样本。

15. 根据权利要求 11 的方法,进一步包括解压缩接收自所述数字接口的所述压缩的波束形成样本的至少一部分,所述解压缩进一步包括:

解码所述相应的压缩波束的所述压缩的波束形成样本,以形成解码的差分样本;以及

积分所述解码的差分样本,以形成相应的解压缩的波束的解压缩的波束形成样本,其中所述积分计算一阶或更高阶积分,以逆转计算差分步骤的差分操作。

16. 根据权利要求 11 的方法,其中编码步骤对相应的差分样本序列应用块浮点编码,

以形成所述相应的压缩的波束。

17. 根据权利要求 16 的方法,进一步包括解压缩接收自所述数字接口的所述压缩的波束形成样本的至少一部分,所述解压缩进一步包括:

通过对所述相应的压缩的波束的所述压缩的波束形成样本应用块浮点解码来解码所述压缩的波束形成样本,以形成解码的差分样本;以及

积分所述解码的差分样本,以形成相应的解压缩的波束的解压缩的波束形成样本,其中所述积分计算一阶或更高阶积分,以逆转计算差分步骤的差分操作。

18. 根据权利要求 11 的方法,其中编码步骤进一步包括:

定义在所述相应的差分样本序列中连续的差分样本组,每组具有预设定数量的差分样本;

确定所述组中具有最大幅度的差分样本的指数值;

编码所述组的所述指数值,以形成指数令牌;

形成具有减少的数量的比特的尾数来代表所述组中的每个差分样本,其中比特的减少的数量基于所述指数值;以及

使用所述指数令牌和预设定数量的尾数来代表所述组中的所述差分样本,以形成相应的压缩组,其中多个压缩组形成所述相应的压缩的波束。

19. 根据权利要求 18 的方法,其中形成尾数的步骤进一步包括:

通过截断或舍入所述差分样本而从所述组中的每个差分样本中去除一定数量的最不重要比特 LSB,以形成减少的尾数,其中去除的 LSB 的数量基于所述指数值,其中代表所述差分样本的步骤使用所述指数令牌和预设定数量的减少的尾数来形成所述相应的压缩组。

20. 根据权利要求 18 的方法,其中所述接收波束形成器产生 N 个波束,其中 N 至少是 2,其中相应波束的差分样本组按照原始组次序,所述方法进一步包括:

复用对应于 N 个压缩的波束的压缩组来形成 M 个复用的压缩组的序列,其中 M 小于 N,包括交错对应于至少两个压缩的波束的集合的压缩组以形成相应的复用的序列,其中所述相应的复用的序列中的压缩组按照组次序布置,其中传输步骤传输 M 个复用的序列。

21. 根据权利要求 20 的方法,进一步包括:

解码接收自所述数字接口的所述相应的复用的序列的压缩组,以形成解码的差分样本的解码组,其中所述解码组按照组次序;

根据所述组次序来积分对应于相同压缩的波束的所述解码的差分样本,以形成包含解压缩的波束形成样本的解压缩组,其中所述解压缩组按照所述相应的复用的序列的组次序;以及

解复用所述相应的复用的序列的解压缩组,以形成对应于所述压缩的波束的集合的解压缩的波束的集合,包括根据所述组次序重新布置解压缩组以将原始组次序恢复到所述解压缩的波束,其中将所述解压缩的波束提供用于进一步信号处理。

22. 根据权利要求 20 的方法,进一步包括:

解码接收自所述数字接口的所述相应的复用的序列的压缩组,以形成包含解码的差分样本的解码组,其中所述解码组按照所述相应的复用的序列的组次序;

解复用所述解码组,以形成对应于所述压缩的波束的集合的解码的差分样本的集合,包括按照所述组次序重新布置所述解码组以将原始组次序恢复到所述解码的差分样本序

列;以及

积分每个所述解码的差分样本序列,以形成相应的解压缩的波束的解压缩的波束形成样本,其中所述积分计算一阶或更高阶积分以逆转计算差分步骤的差分操作。

23. 根据权利要求 18 的方法,进一步包括:

通过选择用于解压缩的相应的压缩组而解压缩接收自所述数字接口的所述压缩的波束形成样本的至少一部分,以形成提供用于进一步信号处理的解压缩的波束形成样本的相应组。

24. 一种用于在超声成像系统中处理波束的装置,所述超声成像系统包括应用到在采样窗口期间接收到的多个超声信号样本序列以形成一个或多个波束的接收波束形成器,其中每个波束由波束形成样本的阵列代表,其中多个模拟到数字转换器采样在采样窗口期间由多个超声换能器元件输出的多个模拟超声信号以产生提供给所述接收波束形成器的多个超声信号样本序列,所述装置包括:

压缩器,耦合至所述接收波束形成器,以接收通过对采样窗口期间接收到的所述超声信号样本应用所述接收波束形成器而形成的一个或多个波束形成样本阵列,所述压缩器包括一个或多个压缩单元,其中相应的压缩单元独立于对应于所述采样窗口的另一波束而压缩相应波束的波束形成样本,以形成相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本,其中所述相应的压缩单元配置为部分地基于相应波束的至少一个其他的波束形成样本的特征来压缩特定的波束形成样本,其中所述压缩器将所述压缩的波束提供给数字接口用以传输至信号处理器。

25. 根据权利要求 24 的装置,进一步包括:

耦合至所述接收波束形成器与所述压缩器之间的一个或多个下变频转换器,每个下变频转换器接收来自所述接收波束形成器的相应波束并且将所述相应波束的波束形成样本转换至中间频率或基带,以形成提供给相应的压缩单元的下变频转换波束。

26. 根据权利要求 24 的装置,进一步包括:

解压缩器,耦合以接收来自所述数字接口的压缩的波束并且将解压缩的波束提供给所述信号处理器,其中所述解压缩器独立于对应于采样窗口的另一压缩的波束而解压缩特定的压缩的波束的压缩的波束形成样本,以形成相应的解压缩的波束的解压缩的波束形成样本。

27. 根据权利要求 24 的装置,其中所述压缩单元进一步包括:

块浮点编码器,其应用到波束形成样本的阵列以产生相应的压缩的波束。

28. 根据权利要求 27 的装置,进一步包括:

解压缩器接收来自所述数字接口的压缩的波束并且将解压缩的波束提供给所述信号处理器,所述解压缩器包括应用到相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本的至少一部分以形成相应的解压缩的波束的解压缩的波束形成样本的块浮点解码器。

29. 根据权利要求 24 的装置,其中所述压缩单元进一步包括:

差分运算器,用以计算相应的波束的连续的波束形成样本之间的一阶或更高阶差分,以产生差分样本序列;以及

编码器,用以编码所述差分样本序列,以形成相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本。

30. 根据权利要求 29 的装置,其中所述差分运算器计算相应的波束的波束形成样本对中的波束形成样本之间的差分,其中每一对的波束形成样本由预设数量的采样间隔所分隔以形成所述差分样本序列。

31. 根据权利要求 29 的装置,进一步包括解压缩器,其接收来自所述数字接口的压缩的波束并且将解压缩的波束提供给所述信号处理器,所述解压缩器包括:

解码器,其应用到相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本的至少一部分以产生解码的差分样本序列;以及

积分器,用于计算解码的差分样本序列的一阶或更高阶积分以形成相应的解压缩的波束的解压缩的波束形成样本。

32. 根据权利要求 30 的装置,其中所述压缩单元进一步包括:

逆转器,依据逆转控制参数,选择性地逆转每一对由预设数量的采样间隔所分隔的波束形成样本中的一个波束形成样本,以产生用于所述差分运算器的波束形成样本对。

33. 根据权利要求 24 的装置,其中所述接收波束形成器将 J 个波束提供给 J 个压缩单元以形成 J 个压缩的波束,其中相应的压缩单元产生用于相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本的多个压缩组,其中压缩组按照原始组次序,每个压缩组具有预设数量的压缩的波束形成样本,所述装置进一步包括:

组复用器,其接收 J 个压缩的波束并且将 M 个复用的压缩组的序列提供给所述数字接口,其中 M 小于 J,所述组复用器交错对应于至少两个压缩的波束的集合的压缩的样本组以形成相应的复用的序列,其中相应的复用的序列中的压缩组按照组次序布置。

34. 根据权利要求 33 的装置,进一步包括:

解压缩器,其接收来自所述数字接口的 M 个复用的序列并且形成 M 个解压缩组序列,其中所述解压缩器解压缩相应的复用的序列的压缩组以按照所述组次序形成解压缩组;以及

组解复用器,其耦合以接收所述 M 个解压缩组序列并且将 N 个解压缩的波束提供给所述信号处理器,其中相应的复用的序列的解压缩组从组次序重新布置为原始次序,以形成对应于压缩的波束的集合的解压缩的波束的集合。

35. 根据权利要求 24 的装置,其中压缩器实施于专用集成电路 ASIC 或者现场可编程门阵列 FPGA 之中。

36. 根据权利要求 26 的装置,其中所述解压缩器实施于 FPGA 中。

37. 根据权利要求 26 的装置,其中所述信号处理器实施于 FPGA 中,所述 FPGA 进一步包括:

实施所述解压缩器的解压缩核;

数据通道,用于接收来自所述数字接口的压缩的波束以将压缩的波束形成样本提供给所述解压缩核;以及

数据通道,用于将解压缩的波束提供给所述信号处理器。

38. 根据权利要求 26 的装置,其中所述解压缩器至少部分地实施于图形处理单元 GPU 中。

39. 根据权利要求 38 的装置,其中所述信号处理器至少部分地实施于 GPU 中。

## 超声系统中的波束形成后压缩

### 技术领域

[0001] 本发明涉及在超声成像系统中由应用在接收的超声信号样本的接收波束形成器所产生的波束形成样本的压缩,特别是在用于图像形成的处理之前独立地压缩每个波束的波束形成样本以及解压缩。

### 背景技术

[0002] 医疗超声系统通过从由临床医生放置在受试对象上的换能器发送超声波束,扫描受试对象的内部解剖结构。超声波在具有不同声阻抗的内部组织的界面上反射,产生回声。换能器接收回声并将它们转换为电超声信号。超声系统将一序列的处理步骤应用到超声信号以产生在控制台上显示的图像或一系列图像,用以由临床医生分析。基于接收的回声的强度形成的图像称为 B- 模式图像。此外,系统可以测量超声信号的多普勒频移 (Doppler shifts) 以产生指示比如血液之类的流体的流动的彩色图像,以及执行对诊断有用的额外的分析。

[0003] 常规的医疗超声换能器包括在由电信号驱动时发送超声波,接收返回的回声并且将接收的回声转换为多个模拟信号的压电元件阵列。多个模拟到数字转换器 (analog to digital converter, 简称 ADC) 对模拟信号采样,每个模拟到数字转换器都产生数字信号样本流。信号样本的典型数字信号处理包括波束形成、下变频转换、B- 模式 (亮度) 处理和 / 或多普勒处理、扫描转换以及用于显示的图像处理。波束形成器对信号样本流应用延迟与累加操作以形成对应于视场中的特定方向的波束形成样本阵列。波束形成器通过对信号样本流应用不同的延迟模式,能够产生对应于视场中的不同方向的数个波束形成样本阵列。取决于期望的诊断信息类型,随后在波束形成样本上执行 B- 模式处理和 / 或多普勒处理以形成 B- 模式检测样本和 / 或多普勒检测样本。检测样本的空间坐标仍然对应于波束形成样本的波束几何形状。扫描转换器执行检测样本的坐标转换以产生具有适合用于显示的光栅格式的数据帧。将额外的图像处理应用到样本帧以允许它们作为二维 (2-D) 或三维 (3-D) 图像显示。

[0004] 用以改进医疗超声系统的当前努力针对于提高控制台 / 车系统的诊断能力以及开发具有提高的图像质量的较小的便携式设备。对于高端控制台或车系统,增加换能器元件的数量以产生更高分辨率和 / 或 3-D 图像以扩展诊断能力是。增加换能器元件的数量会增加从换能器头传达到控制台处理器的数据量,其可能需要更高带宽的通信信道以及更大的电缆连接。换能器头的数据采集能力由操纵需要和外形要素所限制。手提或手持式超声设备对于在小诊所、移动治疗单元以及家庭中的使用是经济的和期望的。对于这些设备,电池寿命也是一种限制。在超声系统中更加高效的处理、传输和存储超声信号数据可以节省功率、数据传输带宽和存储器容量。

[0005] 超声信号数据的压缩能够对控制台 / 车系统和便携式系统两者提供益处。益处包括降低系统的数据传输带宽、存储器容量和功率要求。对于便携式或者手提式超声系统,这些益处会降低重量并且增加电池寿命。对于控制台系统,压缩会减轻增加由换能器头获取

的数据量并传送数据到超声信号处理器的影响。在计算上高效的压缩在对系统复杂度具有较低影响或者没有影响的情况下引入压缩的益处。

[0006] 本描述使用术语“压缩 (compression)”来指代超声信号样本的数据压缩,其中代表信号样本的比特数目被减少并且信号样本随后在用于显示的处理之前解压缩。超声成像系统的某些描述使用术语“压缩”来表示“脉冲压缩”而不是数据压缩。脉冲压缩是指过滤和 / 或调制发送的超声脉冲,以及逆向过滤和 / 或解调接收的超声脉冲。(例如,见作者为 V. Behar 与 D. Adam,于 2004 年在 Ultrasonics 的卷号 42,页码 1101-1109 中发表的“Parameter optimization of pulsecompression in ultrasound imaging system with coded excitation”)。超声成像系统的某些描述使用术语“压缩”来表示“对数压缩”而不是数据压缩。在该上下文中,对数压缩是指在显示之前计算处理的超声数据,典型地为检测的数据的幅度的对数。(例如,见作者为 A. Murtaza 等,于 2008 年 11 月在 Texas Instruments SPRAB 12 的页码 1-26 中发表的“Signal Processing Overview of Ultrasound”)。脉冲压缩和对数压缩两者都有意地改变发送的或接收的超声信号在时域和频域中的特征。在随后跟随有解压缩的接收的超声信号样本的数据压缩是在时域和频域中保存信号特征的处理。本描述指的是超声信号样本的无损及有损压缩。在无损压缩中,解压缩的样本具有与原始样本相一致的值。在有损压缩中,解压缩的样本类似,但不同于原始样本。本描述使用术语“帧”以指代最终将被处理以形成用于显示的超声图像的原始的或处理的超声数据阵列。在本领域中超声成像系统的某些描述还使用术语“屏”以指代超声数据帧。在本描述中,“实时”表示至少与数字信号的采样速率一样快的速率。可以使用术语“实时”来描述数字信号的处理、传输以及存储的速率。采样速率是 ADC 在模拟信号的转换期间形成数字信号样本的速率。在本领域中超声成像系统的某些描述使用“实时”以指代显示超声图像的帧速率。本描述将实时与采样速率,而不是帧速率解释相关联。

[0007] 超声系统中的数据压缩的从前的申请包括了在用于图像形成的扫描转换之前和之后的数据压缩的替代方式。在公告于 2001 年 11 月 13 日,名称为“Ultrasonic Diagnostic Device”的美国专利 6,315,722 中,Yaegashi 描述了用于存储输出自 ADC 单元的超声信号样本的时间轴扩展单元。时间轴扩展单元以输出自 ADC 单元的速率写数据并以较低的速率读数据。时间轴扩展单元存储用于一屏或一帧的信号样本,并且可以使用先入先出 (first-in first-out,简称 FIFO) 存储器实施。数据压缩单元压缩从时间轴扩展单元读取的信号样本。Yaegashi 描述图像压缩技术的应用,这样的方法基于用于利用一个数据帧之内的空间相关性的离散余弦变换 (discrete cosine transform,简称 DCT) 或者用于多数据帧的 MPEG 压缩方法。(MPEG 是指由 Moving Picture Experts Group 开发的视频数据压缩标准)。压缩的样本存储于大容量存储设备,比如硬盘中。数据压缩减少在大容量存储设备中所需的存储容量。为了产生图像,数据扩展单元解压缩取回自大容量存储设备的压缩的样本。将包括过滤、对数转换、检测以及数字扫描转换在内的常规操作应用到解压缩的样本,用于图像形成和显示。Yaegashi 没有公开处理序列中的波束形成。

[0008] 在公开号为 2008/0114246,名称为“Transducer Array ImagingSystem”的美国专利公开中,Randall 等人描述了在波束形成之前和 / 或之后使用映射、重采样和 / 或数据开窗而压缩超声数字数据。映射可以包括再量化或者裁剪信号样本。例如,所需比特的数量随深度单调地减少从而基于深度更少的比特可以分配给每个样本。在某些实施方式中,来



自延伸出发送与接收孔径的接收信道的信号样本可以被截去。为了对感兴趣区域 (region of interest, 简称 ROI) 成像, 信号采集时间可以与深度范围成正比, 从而使在最小采样时间之前和 / 或最大采样时间之后获取的数据能够被截去 — 如果它们不贡献于图像像素的形成。在某些实施方式中, 如果显示分辨率低于全分辨率成像的需要, 那么数据可以被重采样至更少的样本, 从而减少传输的样本的数量。

[0009] 在公告于 2000 年 3 月 28 日, 名称为 “Medical Diagnostic Ultrasound System and Method for Transform Ultrasound Processing” 的美国专利 6, 042, 545 中, Hossack 等人描述了用于在波束形成之后的超声数据的变换压缩技术。波束形成的替代方式包括 ADC 之前的模拟波束形成或者 ADC 之后的数字波束形成。波束形成器产生同相位和正交的 (in-phase 和 quadrature, 简称 I 和 Q) 样本, 或者替代地, 射频 (RF) 样本。对应于二维 (2-D) 帧的波束形成样本被过滤并变换以产生变换域表示。变换域样本被量化和 / 或编码用以压缩。压缩可以是无损的或有损的。可以应用任何变换, 比如 DCT 或离散小波变换 (Discrete Wavelet Transform, 简称 DWT)、量化功能, 以及编码功能, 用以压缩数据帧。例如, JPEG 压缩包括将数据帧分割成 2-D 数据块、在每个块上使用 2-D DCT 进行变换、量化变换域样本、差分编码在块之间 DC (零频率) 变换样本, 以及熵编码量化的变换域样本的 2-D 块 (例如, Huffman 编码)。JPEG 压缩算法可以配置为无损的或无损的。(JPEG 压缩是指由 Joint Photographic Experts Group 开发的标准图像压缩方法)。在变换域中对于比如过滤之类的各种图像处理功能的额外的操作在变换域中比在空间域中在计算上更加高效。例如, 空间域中的 2-D 过滤使用 2-D 卷积运算。在变换域中, 2-D 过滤通过变换域过滤系数使用更加高效的乘法。压缩的变换域数据可被存储用于之后的图像形成。为了解压缩, 在显示处理之前应用逆向编码与变换功能。

[0010] 在公告于 2005 年 2 月 15 日, 名称为 “Diagnostic Information Generation Apparatus and Ultrasonic Diagnostic System” 的美国专利 6, 855, 113 中, Amemiya 等人描述了在从超声波单元到信息单元的无线传输之前的超声数据帧的压缩。超声波单元包括换能器和处理器 (用于随后的波束形成、B- 模式成像以及多普勒成像)。将通用数据压缩标准应用到 B- 模式成像数据或多普勒成像数据, 例如用于单帧的 JPEG 压缩或者用于多帧的 MPEG 压缩。压缩的数据使用标准无线通信方式发送到信息单元。信息单元包括根据压缩标准解压缩接收的数据的中央处理单元 (central processing unit, 简称 CPU)。CPU 此外处理解压缩的 B- 模式成像数据和解压缩的多普勒成像数据用于显示。

[0011] 在公开于 1997 年 3 月 20 日, 名称为 “Ultrasonic Diagnostic Apparatus for Compressing and Storing Data in CINE Memory” 的 PCT 公开申请, 国际公开号为 W0 97/09930 中, Lee 描述了在 CINE 存储器中存储之前对超声数据进行压缩, 并且对从 CINE 存储器中取回的数据进行解压缩。CINE 存储器包括几个由时间组织的库。在此系统中, 超声探测器在 ADC 之前执行波束形成, 因此 ADC 输出数据代表波束形成样本。对数据帧应用压缩并且可以在扫描转换之前或者之后应用。应用 Lempel-Ziv-Welch (LZW) 算法用以压缩和解压缩。LZW 算法基于检测数据中比特的重复模式并且为重复模式分配代码。取回自 CINE 存储器的帧的压缩的数据被解压缩并且进一步处理用于显示。

[0012] 在公开于 2005 年 3 月 31 日, 名称为 “Ultrasonograph and Ultrasonic Data Compression Method”, 公开号为 2005-081082 的日本专利申请中, Akihiro 描述了三种用

于在模拟波束形成之后压缩超声数据的实施方式。在第一实施方式中,ADC生成模拟波束形成器输出信号的 I 和 Q 样本。压缩器计算相邻波束的 I、Q 样本的差异并在随后通过对差异进行游程长度编码而形成压缩的数据。压缩的数据存储于存储器中。取回自存储器的压缩的数据被解压缩和处理用于图像显示。在第二实施方式中,ADC生成模拟波束形成器输出样本的 RF 样本。压缩器计算相邻波束的 RF 样本之间的差异并在随后进行游程长度编码。压缩的样本被存储于存储器中、取回、解压缩并处理用于图像显示。在第三实施方式中,波束形成器输出被进一步处理以在压缩之前生成 B- 模式图像帧和多普勒图像帧。压缩器计算帧到帧的差异以产生压缩的数据帧。压缩的数据帧被存储于存储器中、取回、解压缩并进行进一步处理用于显示。

[0013] 在公告于 1988 年 6 月 21 日,名称为“Ultrasonic Bloodstream Diagnostic Apparatus with Dual Displays of Velocity Profiles and Average Flow Velocity”的美国专利 4,751,929 中, Hayakawa 等人描述了对多普勒频率检测数据的压缩。压缩器在计算频谱样本的实部和虚部的幅度平方的平方和加法电路的输出上操作。压缩器重新编码输出自加法器的每个样本的比特,以在表示中减少比特数量。压缩器在加法器的输出样本上操作,以编码尾数中的最重要比特的位置,保留固定数量的最重要比特并且清除剩余的最不重要的比特。由此产生的每个样本的压缩的字都包括固定数量的最重要比特以及指示从原始样本中清除的最不重要比特的数量的编码。将可变数量的最不重要比特从每个样本中去除,所以压缩是有损的。

[0014] 在标题为“A Novel B-Mode Ultrasound Image Compression Method Based on Beam Forming Data”, 1998 Proc. Intl. Conf. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Vol. 20 No. 3, pp. 1274-76 中, Li 等人描述了对用于在远程超声系统中发送的波束形成样本的压缩。DWT 应用在 128x512 的波束形成样本帧之中。在竖直方向中的子图像系数使用算术编码而被量化和编码。在解压缩之后,将扫描转换应用于 128x512 的解压缩的样本帧以形成 512x512 的样本帧用于显示。

[0015] 数篇论文描述了用于在用以图像形成的扫描转换之后压缩超声图像的不同方法。一些示例包括以下。在标题为“Comparative Survey of Ultrasound Images compression Methods Dedicated to a Tele-Echography Robotic System”, 2001 Proc. 23<sup>rd</sup> Annual IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Intl. Conf., pp. 2461-64 的论文中, Delgorte 等人描述了对超声图像应用不同的压缩方法。方法包括傅立叶变换 (Fourier transform)、DCT、四叉树分解、DWT、分形、直方图阈值以及游程长度编码。方法在扫描转换之后应用在 512x512 的超声图像。在标题为“Despeckling of Medical Ultrasound Images Using Data and Rate Adaptive Lossy Compression”, IEEE Trans. Medical Imaging, vol. 24, No. 6, 2005 年 6 月, pp. 743-54 的论文中, Gupta 等人描述了将压缩与算法相结合以从超声图像中去除斑点。在斑点去除算法、量化以及熵编码后进行 DWT。在标题为“A Tele-Operated Mobile Ultrasound Scanner Using a Light-Weight Robot”, IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine, Vol. 9, No. 1, 2005 年 3 月, pp. 50-58 的论文中, Delgorte 等人描述了对超声图像应用多种无损和有损压缩方法。无损方法包括 Huffman、算术编码、Lempel-Ziv、游程长度编码以及 Fano 编码。有损方法包括各种 JPEG 版本,包括 JPEG、JPEG-LS 以及 JPEG2000。在标题为“Maximum Likelihood Motion

Estimation in Ultrasound Image Sequences”, IEEE Signal Processing Letters, Vol. 4, No. 6, 1997 年 6 月, pp. 156-7 的论文中, Strintzis 等人描述了对超声图像序列应用 MPEG 压缩。方法包括检测在图像序列中连续帧之间的 8x8 的像素块的运动矢量。运动矢量被编码用于帧到帧的 MPEG 压缩。

[0016] 日期为 2006 年 3 月 7 日, 名称为 “Adaptive Compression and Decompression of Bandlimited Signals” 的共同拥有的美国专利 7,009,533 (‘533 专利) 描述用于特定带限信号的压缩与解压缩的算法。提交于 2000 年 6 月 2 日的名称为 “Ultrasound Signal Compression” 的共同拥有和共同未决的美国专利申请序列号 12/477062 (‘062 申请) 描述了在波束形成操作之前对输出自模拟到数字转换器的超声信号样本的压缩和解压缩。本申请针对于对产生自应用到超声信号样本的波束形成操作的超声波束形成样本的压缩。

[0017] 存在对超声成像系统的部件之间的超声波束形成样本的高效数据传输的需求。存在对超声波束形成样本在计算上高效的数据压缩以在对系统复杂度产生最小影响的情况下改进数据传输。

## 发明内容

[0018] 本发明的实施方式考虑到上述的传统问题而做出。本发明提供了用于压缩代表一个或多个由超声成像系统中的接收波束形成器所产生的波束形成样本的装置和方法。将接收波束形成器应用到多个在采样窗口期间接收的超声信号样本序列以形成一个或多个波束, 每个波束由波束形成样本阵列代表。超声信号样本序列通过由换能器元件在采样窗口期间输出的模拟超声信号的模拟到数字转换而产生。本发明的方法和装置提供波束的压缩以形成压缩的波束, 包括压缩代表特定波束的阵列中的波束形成样本以形成相应的压缩的波束的压缩的波束形成样本。阵列中特定波束形成样本的压缩部分地取决于阵列中至少一个其他波束形成样本的特征。每个波束独立于对应于采样窗口的另一波束而压缩。压缩的波束跨越数字接口传输到信号处理器。在信号处理器处, 压缩的波束在用于图像形成的处理之前被解压缩。

[0019] 在本发明的装置的实施方式中, 压缩器包括一个或多个压缩单元。相应的压缩单元独立于对应于采样窗口的其他波束, 对输出自接收波束形成器的相应的波束应用压缩操作。相应的压缩单元配置以部分基于相应的波束的至少一个其他波束形成样本的特征来压缩特定的波束形成样本。

[0020] 在本发明的另一个方面, 压缩操作包括对特定波束的波束形成样本组应用块浮点编码以形成压缩的波束形成样本组。组复用器将对应于两个或更多个压缩的波束的组交错以形成复用的序列用以跨越数字接口传输。对接收到的复用的序列的压缩组进行解压缩以形成解压缩的波束形成样本组。组解复用器重新布置解压缩的组以恢复相应的解压缩的波束的原始组次序。在本发明的另一种实施方式中, 压缩操作包括计算相应波束的波束形成样本之间的差分, 并且跟随以差分样本的块浮点编码, 以形成压缩的波束。

[0021] 波束内的波束形成样本之间的相关性通过部分根据同一波束中的另一波束形成样本的特征来压缩特定的波束形成样本而利用。对于包括块浮点编码的实施方式, 特征为波束内的波束形成样本组中具有最大幅度的波束形成样本的指数值。块浮点编码基于指数值以及波束形成样本本身的值来代表组中的每个波束形成样本。对于包括计算波束中的波

束形成样本对之间的差分的实施方式,特征为该对中的每个波束形成样本的值。独立于采样窗口中的其他波束来压缩每个波束允许对于产生压缩的波束的高效计算和低延迟。

[0022] 压缩超声成像系统中波束形成样本的优点包括降低了用于在数字接口上向信号处理器传输压缩的波束形成样本所需的带宽。对于其中将接收波束形成器和压缩器安置于换能器头之中的系统架构,数字接口可以是有线或无线的通信链路。对于有线通信链路,数字接口可以通过较低成本的电缆部件,比如 PCIe (Peripheral Component Interconnect Express, 外围组件互连高速) 电缆链路或者光纤链路而实施。对于无线通信链路,降低的所需带宽可以降低实施无线链路的发射器和接收器的成本和复杂度。对于其中数字接口的带宽固定的系统架构,波束形成样本的压缩允许压缩形式中的更多波束传输至信号处理器用于图像形成。信号处理器可以使用更多数量的波束形成样本以产生具有提高的分辨率或更大视场的超声图像。

[0023] 本发明的另一个优点包括压缩的波束形成样本的高效存储。对于其中波束形成样本存储于存储器或其他存储介质中的系统架构,用于存储压缩的波束形成样本所需的存储容量相较于未压缩的波束形成样本是减少的。

[0024] 本发明的另一个优点包括在计算上高效的压缩和解压缩。压缩和解压缩的实现较不复杂,降低了系统资源上的负担并且降低成本。本发明的其他方面和优点可以通过参阅以下附图、详细描述以及权利要求而看出。

## 附图说明

[0025] 图 1 为依据现有技术的典型医疗超声系统的示例的框图。

[0026] 图 2 为依据现有技术的超声信号处理器 130 的框图。

[0027] 图 3 为依据现有技术的在波束形成之前的超声信号样本的绘图。

[0028] 图 4 为依据现有技术的对应于一个波束形成器输出通道的波束形成超声信号的同相位样本的绘图。

[0029] 图 5 为包括输出自接收波束形成器的波束形成样本的压缩的超声成像系统的框图。

[0030] 图 6 为包括复用压缩的波束形成样本用以跨越较少数据端口传输的超声成像系统的框图。

[0031] 图 7 为在其中  $N_{\text{GROUP}} = 4$  的块浮点编码器的框图。

[0032] 图 8 示出了选择用于编码的样本的  $n$  比特的示例。

[0033] 图 9 示出了选择用以代表减少的尾数的比特的示例。

[0034] 图 10 为  $n_{\text{exp}}$ 、 $n_{\text{LSB}}$  以及  $m_{\text{exp}}$  的示例值的表。

[0035] 图 11 为使用减少的尾数的块浮点编码的框图。

[0036] 图 12 示出了复用压缩的波束的集合的压缩组的示例。

[0037] 图 13 示出了对应于图 12 的复用示例的解复用示例。

[0038] 图 14 示出了包括差分操作的压缩单元的框图。

[0039] 图 15 为与关于图 14 描述的压缩操作相对应的解压缩操作的框图。

[0040] 图 16 为解复用解码的差分样本组的框图。

[0041] 图 17 给出了示出在用于压缩具有不同的中心频率的波束形成样本的替代方式之

下的原理的示例。

[0042] 图 18 为基于波束形成样本的中心频率的压缩算法的框图。

[0043] 图 19 示出了基于中心频率产生修改的样本 832 的操作。

[0044] 图 20 给出图 17 的示例的样本  $x(i)$  与  $x(i-j)$  的和或者差。

[0045] 图 21 为对于关于图 18 描述的压缩方法的由解压缩器 240 所执行的操作的框图。

[0046] 图 22 为解复用解码的修改的样本组的框图。

[0047] 图 23 为 GPU 中的解压缩器以及其他用以产生超声图像的操作的实施的框图。

[0048] 图 24 为 CPU/GPU 设备中的解压缩器以及其他用以产生超声图像的操作的实施的框图。

## 具体实施方式

[0049] 图 1 为依据现有技术的典型医疗超声系统的示例的框图。发送波束形成器 104 为现有技术中的已知构造,比如数字或模拟波束形成器。发送波束形成器 104 响应于系统控制器 102 生成一个或多个激励信号。激励信号具有相关联的中心频率,典型地在 1-20MHz 范围。来自发送波束形成器 104 的激励信号经由发送 / 接收切换器 112 提供至超声换能器 110。超声换能器 110 包含换能器元件 110i 的阵列。超声换能器 110 是允许将超声波耦合至被检查的受试对象的现有技术中的已知构造。换能器元件 110i 发射并且接收超声波。发送 / 接收切换器 112 包括用于发送和接收模式的交换电路。对于发送模式,发送 / 接收切换器 112 将来自发送波束形成器 104 的激励信号耦合至换能器 110。对于接收模式,发送 / 接收切换器 112 将接收的超声信号从换能器 110 耦合至模拟前端 (AFE) 114。为了传输,换能器元件 110i 转换激励信号以产生超声波波形。特别是,换能器 110 响应于发送波束形成器 104,将激励信号转换成在受试对象内的方向上前行的超声波波形。具有拥有不同声阻抗的界面的散射位置反射超声波波形,产生会返回换能器 110 的回声。多个换能器元件 110i 接收回声并将它们转换成多个模拟超声信号。发送 / 接收切换器 112 在采样窗口期间将来自换能器 110 的多个模拟超声信号耦合到 AFE 114。采样窗口对应于时间间隔,在其中接收的回声代表来自在受试对象中期望的深度范围内的散射位置的反射。控制器 102 依据用户输入或者扫描协议设置采样窗口并将定时控制信息提供给发送 / 接收切换器 112。发送 / 接收切换器 112 在采样窗口期间输出并行的多个模拟超声信号。AFE 114 将多个模拟超声信号进行放大并过滤以对模拟到数字转换进行准备。对于每个模拟信号通道 113i, AFE 114 可以包括低噪声放大器 (low noise amplifier, 简称 LNA)、可变增益放大器 (variable gain amplifier, 简称 VGA) 以及低通滤波器。因为接收的信号强度随时间减弱,所以 VGA 应用作为时间的函数增加增益的增益分布。信号强度随时间减弱是由超声波在穿过更多组织的较长路径上的衰减造成的。ADC 库 120 包括多个 ADC 以将在采样窗口期间接收的多个模拟超声信号转换为多个并行的超声信号样本序列。将每个 ADC 输入通道 115i 处的模拟超声信号转换为相应的 ADC 输出通道 121i 处的超声信号样本流。超声信号样本具有非零中心频率,通常对应于与换能器的压电材料的本质、谐振频率相关的接收的超声信号的射频 (RF)。

[0050] 超声信号处理器 130 执行从超声信号样本中提取诊断信息的操作,包括关于图 2 进一步描述的波束形成、下变频转换、B- 模式处理和 / 或多普勒处理。超声信号处理

器 130 可以实施为一个或多个处理器,所述处理器比如数字信号处理器 (digital signal processor,简称 DSP)、现场可编程门阵列 (field-programmable gate array,简称 FPGA)、微处理器或者计算机的 CPU。扫描转换器 140 执行处理的样本帧的坐标变换以产生具有光栅 (正交直线) 格式的超声图像样本帧。图像处理器 150 能够对超声图像样本应用额外的图像增强操作。显示器 160 提供二维或三维图像供用户分析。

[0051] 图 2 为依据现有技术的超声信号处理器 130 的框图。医疗超声系统能够在输出自 ADC 库 120 的 RF 超声信号样本上执行数字波束形成操作。接收波束形成器 160 对超声信号样本应用延迟、变迹 (衰减) 以及加法操作以形成对应于视场中的特定方向或者角度的波束形成样本或者波束的 1-D 阵列。接收波束形成器 160 对超声信号样本应用延迟模式 (取决于所计算的波束的方向)。接收波束形成器 160 产生对应于视场中的多个方向的多个波束形成样本的 1-D 阵列。接收波束形成器 160 包括波束形成器 (BF) 存储器 162 以存储用于波束形成 (BF) 计算器 164 的延迟和加法操作的超声信号样本。针对同一接收的脉冲, BF 计算器 164 能够使用取回自 BF 存储器 162 的超声信号样本形成多个波束。BF 计算器 164 还可以对超声信号样本应用差值操作,以提高计算的波束的相位分辨率。接收波束形成器 160 还可以在加法操作之前对信号样本应用加权函数,以实施空间窗口功能或者变迹。将为每个角度计算的波束形成样本提供给相应的波束形成器输出通道 161i。接收波束形成器 160 通常具有少于输入通道的,包含 ADC 输出通道 121i 的输出通道 161i。在这种配置中,波束形成样本具有 RF 中心频率。数字下变频转换器 (digital down converter,简称 DDC) 170 将波束形成样本解调至基带,以生成每个波束的复基带 I 和 Q 样本。作为 DDC 170 的替代或补充,可以对在期望的频率为中心的频带处的波束形成样本应用带通滤波器,或者 DDC 170 可以将波束形成样本解调为中间频率 (intermediate frequency,简称 IF) 而不是基带。本领域中的替代架构包括在波束形成之前的模拟到数字转换以及超声信号样本的数字下变频转换之前的模拟波束形成。

[0052] 诊断信息处理器 180 为期望的类型的超声图像在 I、Q 样本上执行合适的操作。B- 模式处理生成代表回声信号强度的信息。I、Q 样本的幅度可被计算以形成用于 B- 模式成像的检测样本。多普勒处理从 I、Q 样本中估算速度、速度变化以及能量以形成多普勒检测样本。B- 模式检测样本和多普勒检测样本的空间坐标对应于波束形成样本的几何形状。扫描转换器 140 执行检测样本的坐标变换以产生具有适合于显示的光栅格式的数据帧。图像处理器 150 在将样本帧作为二维或三维图像显示之前执行样本帧的额外的图像处理。

[0053] 图 3 为在波束形成之前的超声信号样本的绘图。绘图显示由 ADC 阵列中的一个 ADC 所采样的四个脉冲回声的同相位样本。对于这个示例,数字下变频转换在波束形成之前应用到输出自 ADC 的超声信号样本,以形成 I、Q 样本。图 4 为对应于一个波束形成器输出通道的波束形成超声信号的同相位样本的绘图。对于这个示例,波束形成器通过对 I、Q 样本执行延迟与加权函数而结合输出自多个 ADC 的多个 I、Q 样本序列。

[0054] 图 5 为依据优选实施方式的包括压缩由接收波束形成器 160 所产生的波束形成样本的超声成像系统的框图。压缩器 210 包括多个压缩单元 210i,每个压缩单元对相应的波束形成器输出通道 161i 应用压缩操作。压缩单元 210i 对代表特定波束的波束形成样本的 1-D 阵列应用压缩操作以在压缩器输出 211i 处产生相应的压缩的波束形成样本序列。特定波束的波束形成样本独立于代表其他波束的波束形成样本而压缩。备选地,压缩单元 210i

可以压缩代表接收自多个波束形成器输出通道 161i 的多个波束的波束形成样本。在这种备选方式中,压缩单元 210i 独立地对代表不同波束的波束形成样本应用压缩操作。压缩的波束形成样本跨越数字接口 220 传输至诊断信息处理器 180。解压缩器 240 解压缩接收的压缩的数据以重建波束形成样本的 1-D 阵列用于由诊断信息处理器 180 进行进一步信号处理操作。用于压缩的波束形成样本的传输所需的数字接口 220 的数据传输带宽相较于用于未压缩的波束形成样本的传输所需的带宽是减小的。

[0055] 在处理序列中的某个点处,将处理的超声信号被下变频转换到 IF 或基带。下变频转换可以在波束形成之后和压缩之前,或者在解压缩之后,由 ADC 库 120 的模拟到数字转换之前或之后应用。当在压缩之前应用下变频转换时,输入至压缩器 210 的波束形成样本将具有在中间频率 (IF) 或在零频率 (基带) 处的中心频率。当在解压缩之后应用下变频转换时,输入至压缩器 210 的波束形成样本将具有 RF 中心频率。当前描述假设波束形成样本为实值样本。备选地,如果 ADC 120i 执行正交采样或者如果在压缩前应用正交下变频转换,那么波束形成样本将具有 I 和 Q 分量。在这种情况下,压缩器 210 将独立地处理波束形成样本的 I 和 Q 分量。

[0056] 由于压缩的波束形成样本具有更少的每样本比特,用于连接到数字接口 220 的数据端口可以具有过剩带宽。可以复用压缩的波束形成样本以形成较少的用于通过数字接口 220 传输的数据通道。图 6 为包括复用压缩的波束形成样本用以跨越较少数据端口传输的超声系统的框图。接收波束形成器 160 从相应 ADC 输出 121i 接收 N 个超声信号样本流  $X_1$  到  $X_N$ , 并且在波束形成器输出通道 161i 处产生 J 个波束  $B_1$  到  $B_J$ 。压缩单元 210i 产生 J 个相应的压缩的波束形成样本流  $C_1$  到  $C_J$ 。具有降低的比特率的压缩的波束形成样本提供给数据端口 270i。优选地,数据端口 270i 提供低电压差分信令 (low voltagedifferential signaling, 简称 LVDS) 数据传输。备选地,数据端口 270i 可以使用串行器-解串行器 (serializer-deserializer, 简称 SerDes) 接口用于数据传输。由 National Semiconductor 于 2008 年 1 月出版的,标题为“LVDS Owner's Manual Including High-Speed CML and Signal Conditioning”的文件的第四版中描述了 LVDS 设备与架构。LVDS 数据传输具有期望的特性,包括 3.125Gbps 的最高数据传输速率、低噪声以及低功耗。差分信令需要在每个通道输出具有两个 I/O 引脚,一个用于正差分输出而另一个用于负差分输出,称为 LVDS 对。当在压缩器输出  $C_1$  处的压缩的波束的比特率低于端口的最高数据传输速率时,数据端口 270i 具有过剩带宽。过剩带宽可以通过组合多个压缩的波束用以通过给定的数据端口 270i 传输而利用。复用器 250 将 J 个压缩的波束形成样本序列相组合以形成 M 个复用的序列  $D_j$ , 其中  $M < J$ , 用以在 M 个数据端口 270i 上传输。可以结合的压缩的波束的数量受限于数据传输端口 270i 的带宽。串行器 260 将复用的比特序列提供给相应的数据端口 270i。

[0057] 复用压缩的波束形成样本以使用 M 个数据端口的优点包括使用较少的物理数据端口,这继而减少了数据端口的功耗和连接。在其中压缩的波束形成样本的比特率被固定的应用中,复用器 250 具有对于固定数量的物理数据端口 270i 的固定数量的复用器输出 251i。备选地,灵活架构可以依据压缩的波束形成样本的比特率来支持固定数量的物理数据端口 270i 之中的可变数量的活动数据端口。对于灵活架构,压缩器 210 依据用户可选的压缩比参数,以不同的比特率提供压缩的波束形成样本。压缩控制器 (未在图 5 中示出)

为压缩单元 210i 提供压缩控制参数,以便操作产生具有对应于期望的压缩比的比特率的压缩的波束形成样本。压缩控制器为复用器 250 提供复用控制参数以指示需要产生的复用的序列的数量 M。压缩控制器还可以响应于用户输入而断电不活动数据端口,从而进一步节能。

[0058] 可被结合用于一个数据端口的压缩的波束的数量由数据端口 270i 的带宽所限制。例如,对于其中每个波束具有每波束形成样本 16 比特以及每秒 50 兆样本的采样速率的  $J = 8$  波束  $B_i$ ,每个波束形成器输出通道 161i 处的比特率为 800Mbps。假设数据端口 270i 具有高达 800Mbps 的数据传输速率而压缩器 210 产生 2 : 1 的压缩比。压缩器输出 211i 处的压缩的波束  $C_i$  具有 400Mbps 的比特率。在这种情况下,一个数据端口 270i 具有足够的带宽以 800Mbps 的数据传输速率传输 2 个压缩的波束  $C_i$ 。复用器 250 结合来自 2 个压缩的波束集合  $C_i$  和  $C_{i+1}$  的压缩的波束形成样本,以在一个复用器输出 251i 形成相应的复用的压缩的样本序列  $D_j$ 。在这个示例中,提供给相应的活动数据端口的复用的序列数量为  $M = J/2 = 4$ 。串行器 260 向相应的数据端口 270i 提供比特序列。在数字接口 220 上传输之后,解复用器可以接收 M 个复用的序列并将它们解复用以恢复提供给解压缩器 240 的 J 个压缩的波束。备选地,复用器 250 可以交错具有固定每组样本数量的压缩的波束形成样本组。对于这种备选方式,如以下关于图 12 和图 13 所描述的,解压缩器 240 可以在解复用之前解压缩压缩的波束形成样本组。

[0059] 由压缩单元 210i 应用的压缩方法独立于其他波束而对每个波束形成器输出通道 161i 的波束形成样本进行操作。应用到波束形成样本的压缩方法取决于波束中其他样本的值。压缩方法包括块浮点编码以及由块浮点编码所跟随的计算波束形成样本的一阶或更高阶导数。Huffman 或者其他编码类型可以是块浮点编码的备选方式。

[0060] 压缩单元 210i 的优选实施方式对来自波束形成器输出通道 161i 的连续的波束形成样本组应用块浮点编码,其中每组具有  $N\_GROUP$  个样本。对  $N\_GROUP$  个样本的最高指数进行编码,并且  $N\_GROUP$  个样本依照以下步骤编码。

[0061] 对于第一组  $N\_GROUP$  个样本:

[0062] 1) 比如通过计算每组  $N\_GROUP$  个样本中的最高幅度的  $\log_2$ ,确定具有最高幅度的样本的指数(以 2 为底)。这指示每个编码的样本中的比特数量或者  $n\_exp(0)$ 。

[0063] 2) 使用 S 比特对第一组的指数  $n\_exp(0)$  进行绝对编码,其中 S 为每样本比特的原始数量。

[0064] 3) 使用每样本  $n\_exp(0)$  比特对  $N\_GROUP$  个样本进行编码。

[0065] 对于第 i 组  $N\_GROUP$  个样本 ( $i > 0$ ):

[0066] 4) 确定具有最高幅度的样本第 i (以 2 为底) 指数,其指示在第 i 组中的每个编码的样本的比特数量,或者  $n\_exp(i)$ ;

[0067] 5) 通过从  $n\_exp(i-1)$  中减去  $n\_exp(i)$  以确定第 i 差值来对第 i 指数进行差分编码。使用相应的令牌来编码第 i 差值,其中较短的令牌代表较常见的差值而较长的令牌代表较不常见的差值。

[0068] 6) 使用每样本  $n\_exp(i)$  比特来编码第 i 组  $N\_GROUP$  个样本。

[0069] 对于第一组样本,指数  $n\_exp(0)$  被直接编码。例如,指数  $n\_exp(0)$  可以按如下编码,其中 S 为每样本比特的原始数量:



[0070] a. 0 :  $n_{\text{exp}}(0) = 0$  (全部 4 个样本值为零)

[0071] b. 1 :  $n_{\text{exp}}(0) = 2$  (每样本 2 比特)

[0072] c. 2 :  $n_{\text{exp}}(0) = 3$  (每样本 3 比特)

[0073] d. 其他直到  $S-1$  :  $n_{\text{exp}}(0) = S$  (每样本  $S$  比特)

[0074] 对于第  $i$  组, 指数  $n_{\text{exp}}(i)$  使用前缀码差分编码, 其中没有码字为另一个码字的前缀。优选的差分编码如下:

[0075] 1. 计算差值 :  $e_{\text{diff}} = n_{\text{exp}}(i) - n_{\text{exp}}(i-1)$

[0076] 2. 编码  $e_{\text{diff}}$  如下:

[0077] a. 0 :  $e_{\text{diff}} = e(i) - e(i-1)$

[0078] b. 101 :  $e_{\text{diff}} = +1$

[0079] c. 110 :  $e_{\text{diff}} = -1$

[0080] d. 1001 :  $e_{\text{diff}} = +2$

[0081] e. 1110 :  $e_{\text{diff}} = -2$

[0082] f. 其他.

[0083] 备选地, 指数  $n_{\text{exp}}(i)$  可以进行 Huffman 编码而不是差分编码。

[0084] 图 7 为其中  $N_{\text{GROUP}} = 4$  的块浮点编码器的框图。如在步骤 1 和步骤 4 中, 指数计算器 402 为  $N_{\text{GROUP}}$  个样本以比特、 $n_{\text{exp}}$  的形式确定最大指数。如在步骤 2 和步骤 5 中, 指数令牌生成器 404 编码  $n_{\text{exp}}$  值。如在步骤 3 和步骤 6 中, 尾数打包器 406 编码  $N_{\text{GROUP}}$  个样本尾数。图 8 示出了选择用于编码的样本的  $n$  比特的示例。输入样本 420 由  $K$  比特代表。样本 420 的  $n_{\text{exp}}$  较低比特被选择用于编码。样本的符号比特被附加到选择的比特, 而产生的比特序列代表尾数。返回图 7, 复用器 408 打包由  $N_{\text{GROUP}}$  个尾数所跟随的指数令牌 411 以形成代表  $N_{\text{GROUP}}$  个压缩的样本的压缩组 410。对于这个示例, 压缩组 410 包括由四个打包的尾数序列 412-0、412-1、412-2 和 412-3 所跟随的指数令牌 411。压缩单元 210i 连接连续的压缩组以在压缩器输出 211i 处形成压缩包的数据部分。 $N_{\text{GROUP}}$  的优选的大小为每组三个或四个样本。但是, 也可以使用可变的组大小。

[0085] 分别编码尾数和指数能够提供额外的压缩并且减轻压缩误差。对连续指数的差值进行计算并编码。指数缓慢的变化, 所以有一些由零值串所分离的非零值。可以通过仅代表非零差值以及它们相应的位置而高效地编码指数差值。位置可以由相应的索引值或者相对于最后的非零差值的位置来代表。指数差值的编码是无损的, 其防止相对较大的误差。为了解码指数, 指数值通过积分指数差值并解码相应的位置而重建。为了解码尾数, 对每个重建的尾数值进行限制以使得它不改变解码的样本的相应的指数的值。对于  $n_{\text{exp}}$  的解码的指数, 重建的尾数可以具有  $2^{n_{\text{exp}}-1}$  的最大值。这防止了尾数中的压缩误差改变指数值。

[0086] 备选的块浮点编码方法包括减少代表尾数的比特数量以及如上所述的指数的差分编码。代表  $N_{\text{GROUP}}$  个样本的尾数的比特数量通过从每个尾数选择性地去掉一定数量的最不重要比特 (LSB) (取决于组的  $n_{\text{exp}}$  值) 而减少。图 9 示出了选择代表减少的尾数的比特的示例。 $n_{\text{exp}}$  如同在以上步骤 1 和步骤 4 中那样确定。比特的一定数量的  $n_{\text{LSB}}$  从最不重要的比特开始去除, 而不是对尾数的全部  $n_{\text{exp}}$  较低比特编码。将剩余的  $m_{\text{exp}}$  比特 ( $m_{\text{exp}} = n_{\text{exp}} - n_{\text{LSB}}$ ) 选择用以编码。 $n_{\text{LSB}}$  的值依据公式或者表, 取决于  $n_{\text{exp}}$  的值。图 10 为  $n_{\text{exp}}$ 、 $n_{\text{LSB}}$  以及  $m_{\text{exp}}$  的示例值的表。对于较大的  $n_{\text{exp}}$  值, 更多 LSB 通过

截尾或者舍入而去除,以形成具有  $m_{\text{exp}}$  比特的减少的尾数。例如,如果  $n_{\text{exp}}$  为 12,那么去除 3 个 LSB 以便保留 9 个尾数比特用以打包  $N_{\text{GROUP}}$  个减少的尾数。压缩器 210 可以存储  $n_{\text{exp}}$ 、 $n_{\text{LSB}}$  和  $m_{\text{exp}}$  的值的查询表。备选地,压缩器 210 可以将  $n_{\text{LSB}}$  和  $m_{\text{exp}}$  表示为  $n_{\text{exp}}$  的函数,并且在需要时计算它们的值。图 11 为使用减少的尾数进行块浮点编码的框图。对于每一组  $N_{\text{GROUP}}$  个样本,指数计算器 402 如以上所述确定最大指数  $n_{\text{exp}}$ 。尾数比特计算器 414 使用查询表或公式确定减少的尾数中的比特的数量  $m_{\text{exp}}$ 。减少尾数打包器 416 为  $N_{\text{GROUP}}$  个样本中的每一个选择  $m_{\text{exp}}$  比特。复用器 408 随后打包由减少的尾数 419-0、419-1、419-2 和 419-3 所跟随的指数令牌以形成压缩组 418。对于某些条件,不从  $N_{\text{GROUP}}$  个样本的组中去除 LSB。例如,当  $N_{\text{GROUP}}$  个样本中的一个或多个样本的幅度小于可接受的最低值时,将打包包括原始 LSB 的  $N_{\text{GROUP}}$  个尾数。压缩的波束可以包括具有或不具有减少的尾数的压缩组。

[0087] 压缩控制器为压缩单元 210i 提供压缩控制参数用于块浮点编码。可以有多种用于  $n_{\text{LSB}}$ 、 $m_{\text{exp}}$  和  $n_{\text{exp}}$  的备选的查询表或公式。压缩控制参数包括  $N_{\text{GROUP}}$  以及  $n_{\text{LSB}}$ 、 $m_{\text{exp}}$  和  $n_{\text{exp}}$  的备选查询表或公式的选择参数。压缩控制参数对于所有的压缩单元 210i 可以是一致的。备选地,压缩控制参数对于不同的压缩单元 210i 可以具有不同的值。压缩控制器能够响应于用户输入以选择压缩控制参数。

[0088] 可以将压缩的波束形成样本插入压缩包的数据部分用以在数字接口 220 上传输。对应于采样窗口的压缩的波束的压缩的波束形成样本可以布置在一个或多个压缩包中。备选地,如关于图 6 所述,可以将对应于多个压缩的波束的压缩的波束形成样本序列相结合以形成压缩包用以在给定的数据端口 270i 上传输。压缩包的报头部分包含包的识别信息。报头还可以包含代表包中的压缩的波束形成样本的压缩控制参数的控制数据。解压缩器 240 可以使用关于压缩控制参数的信息以配置解压缩操作。

[0089] 图 6 的复用器 250 的优选实施方式复用  $N_{\text{GROUP}}$  个压缩的波束形成样本的组。复用器 250 通过交错  $J$  个压缩的波束的压缩组而产生  $M$  个复用的序列。将  $J$  个压缩的波束分为压缩的波束的  $M$  个集合。对于每个集合,复用器 250 交错集合中的压缩的波束的压缩组以形成相应的复用的序列  $D_m$ 。复用的序列  $D_m$  是来自自由复用器 250 布置在组次序中的相应集合的压缩组序列。复用器 250 可以作为  $M$  个并行的复用器实施,每一个复用器接收相应集合的压缩的波束。

[0090] 图 12 示出了复用压缩的波束  $C_1$  和  $C_2$  的集合的压缩组的示例。组复用器 252 交错来自压缩的波束  $C_1$  的压缩组  $G_{1j}$  和来自压缩的波束  $C_2$  的压缩组  $G_{2j}$  以形成复用的序列  $D_1$ 。在这个示例中,复用的序列  $D_1$  的组的次序在压缩的波束之间交替以形成序列  $G_{1j}$ 、 $G_{2j}$ 、 $G_{1(j+1)}$ 、 $G_{2(j+1)}$ ,等。压缩的组  $G_{1j}$  可以代表对应于图 7 的块浮点压缩组 410、图 11 的压缩组 418 或者由比如 Huffman 编码的另一种编码方法所产生的压缩组的打包的比特。压缩组具有每组相同的压缩的波束形成样本数量,即,  $N_{\text{GROUP}}$  个样本。然而,由于每个压缩的样本的比特数量可能变动,所以每个压缩组的比特数量也可能变动。对于上述的块浮点编码方法,每个压缩组的比特数量取决于  $n_{\text{exp}}$  的值。

[0091] 为了解压缩,解压缩器 240 解码并且解包对应于每个压缩的波束的压缩组的压缩的波束形成样本。对于每组  $N_{\text{GROUP}}$  个压缩的波束形成样本,解压缩器 240 解码指数令牌以确定  $n_{\text{exp}}$  的值。对差分编码的指数进行积分以确定  $n_{\text{exp}}$  的值。 $N_{\text{GROUP}}$  个尾数随后

通过将来自压缩组 410 或 418 的每个尾数的比特解包以及将比特映射到相应的解压缩的波束形成样本以形成解压缩组而重建。取决于下游处理要求,解压缩的波束形成样本可以由每波束形成样本的原始比特数量或者每波束形成样本的不同比特数量代表。对于使用减少的尾数的块浮点编码器,解压缩器 240 还包括用于基于  $n_{\text{exp}}$  的解码值确定  $n_{\text{LSB}}$  的值的查询表或公式。减少的尾数的解包的比特通过  $n_{\text{LSB}}$  比特附加,其可为零或抖动值,以接近原始波束形成样本值。根据特定的压缩的波束计算的解压缩组序列形成相应的解压缩的波束。

[0092] 为了复用的压缩组序列的解压缩,解压缩器 240 可以在解复用之前应用到复用的序列。参考图 13,复用的序列  $D_1$  的每个压缩组  $G_{ij}$  包括提供用以解压缩那个组的  $N_{\text{GROUP}}$  个压缩的波束形成样本的必要信息的指数令牌。对于差分编码的指数令牌,解压缩器使用复用的序列  $D_1$  的组次序以选择对应于用于积分的相同的压缩的波束的指数令牌以确定  $n_{\text{exp}}$  的相应的值。组次序可以是对于复用和解复用的固定参数,在这种情况下其由解压缩器 240 和组解复用器 254 所知。备选地,组次序可以是可调参数,在这种情况下它可以随同其他压缩参数包括在压缩包的报头部分。如前所述,压缩组可以具有不同的比特数量。然而,一旦组被解压缩,每一组的  $N_{\text{GROUP}}$  个解压缩的波束形成样本将具有相同的每样本比特数量。解压缩组的组次序与压缩组的相同。组解复用器 254 将解压缩组重新排序到它们的原始次序以形成解压缩的波束的集合,每个具有按照原始连续次序的解压缩的波束形成样本。

[0093] 图 13 示出了对应于图 12 的复用示例的解复用示例。解压缩器 240 对复用的序列  $D_1$  应用块浮点解码以形成解压缩组的序列 241。每组  $R_{ij}$  中的解压缩的波束形成样本具有相同的每样本比特数量。组解复用器 254 恢复解压缩的波束形成样本的原始次序以形成解压缩的波束 253 和 255 的集合。组解复用器 254 使用组次序,即,  $R_{1j}$ 、 $R_{2j}$ 、 $R_{1(j+1)}$ 、 $R_{2(j+2)}$  等,以将解压缩的波束形成样本组分离到它们相应的解压缩的波束 253 和 255。由于每组的样本数量为  $N_{\text{GROUP}}$ ,所以组解复用器 254 将每组  $R_{ij}$  的  $N_{\text{GROUP}}$  个解压缩的波束形成样本附加到相应的解压缩的波束。

[0094] 用于波束形成样本的压缩和解压缩的备选方法包括在产生具有较低幅度的修改的样本之前,对每个波束内的波束形成样本执行计算,并因此需要较少的比特来代表它们。‘553 专利描述了用于某些带限信号的压缩和解压缩的算法。以下描述的某些备选的压缩方法为用于波束形成样本的 ‘533 专利的算法的修改。

[0095] 用于波束形成样本的压缩的备选方法包括跟随以编码而独立于其他波束计算每个波束中的波束形成样本之间的差分。计算波束形成样本的一阶或更高阶差分可产生具有小于原始波束形成样本的幅度的差分样本。编码差分样本可产生比编码波束形成样本本身更大的压缩。

[0096] 图 14 示出了包括差分操作的压缩单元 210i 的框图。压缩单元 210i 接收来自波束形成器输出通道 161i 的波束形成样本。压缩控制器 340 为每个压缩单元 210i 的差分运算器 330i 和编码器 332i 提供压缩控制参数。用于差分运算器 330i 的压缩控制参数可以选择一阶、二阶或者更高阶差分。差分运算器 330i 应用选择的差分阶以产生差分样本。压缩控制参数还可以选择绕过差分操作以便编码器 332i 编码波束形成样本而不是差分样本。如上所述,编码器 332i 可以应用差分样本的块浮点编码。在这种情况下,将差分样本

提供给图 7 或图 11 的块浮点编码器的输入 401。备选地,编码器 332i 可以对差分样本应用 Huffman 编码或者其他编码。用于编码器 332i 的压缩控制参数可以如以上所述指示块浮点编码器的参数,或者指示 Huffman 编码器或者另一编码器的参数。压缩控制参数对于不同的压缩单元 210i 可以是相同的或者不同的。

[0097] 如以上关于图 6 和图 12 所述,对应于不同的压缩的波束的压缩器输出 221i 可以在数字接口 220 上传输之前复用至较少的输出通道。编码器 332i 可以对差分样本应用块浮点编码以产生压缩组  $G_{ij}$ ,其在图 12 中代表包括压缩的波束  $C_1$  和  $C_2$  的  $N\_GROUP$  个编码的差分样本的组。备选地,编码器 332i 可以对差分样本应用 Huffman 编码从而使  $G_{ij}$  代表具有每个压缩组  $N\_GROUP$  个压缩的波束形成样本的 Huffman 编码的差分样本组。组复用器 252 结合压缩的波束  $C_1$  和  $C_2$  的组以形成复用的序列  $D_i$ 。

[0098] 图 15 为对应于关于图 14 所述的压缩操作的解压缩操作的框图。解压缩器 240 接收来自数字接口 220 的压缩的波束。解码器 352 逆转编码器 332i 的操作以形成解码的差分样本。例如,解码器 352 执行块浮点解码、Huffman 解码或者其他解码。积分运算器 354 添加解码的差分样本以逆转由压缩所执行的一阶或更高阶差分,以形成提供给诊断信息处理器 180 的解压缩的波束。如果未执行差分用于压缩,积分运算器 354 将被绕过。解压缩控制器 350 将控制参数提供给解码器 352 和积分运算器 354。解压缩控制器 350 可以从压缩的数据包的报头提取控制数据用以解压缩操作确定控制参数。

[0099] 如关于图 13 所述,图 15 的解压缩器 240 可以在解复用之前应用到不同采用的压缩组的复用的序列。在这种情况下,解码器 352 解码复用的序列中的压缩组  $G_{ij}$  以形成在组次序中的解码的差分样本组。对于块浮点解码,如果指数令牌进行差分编码,那么解码器 352 使用组次序以积分对应于相同波束的指数令牌,以确定相应组的  $n\_exp$  值。积分运算器 354 使用组次序和  $n\_exp$  来确定对应于相同波束的解码差分样本组。积分运算器 354 积分相应的组解码差分样本以形成 241 的序列的解压缩的组  $R_{ij}$ 。组解复用器 254 随后将解压缩的组  $R_{ij}$  分为相应的解压缩的波束 253 和 255。

[0100] 备选地,如图 16 中所示,解码的差分样本组可以在积分之前解复用。解码器 352 接收比如由图 12 中的  $D_i$  所代表的复用的序列。解码器 352 逆转编码器 332i 的操作以解包并且解码压缩组以形成在组次序中的解码的差分样本组。对于其中指数令牌被差分编码的块浮点解码,解码器 352 使用组次序以积分对应于相同波束的指数令牌。解码的差分样本组具有相同的每样本比特数量并且在对应于压缩组的复用的序列的组次序中。组解复用器 254 分离解码的差分样本组以形成对应于每个波束的解码的差分样本的阵列。每个阵列中的解码的差分样本的次序对应于输出自差分运算器 330i 的差分样本的次序。积分运算器 354i 和 354j 执行解码的差分样本的相应阵列的一阶或更高阶积分以形成第 i 和第 j 解压缩的波束。

[0101] 压缩的另一备选方式基于中心频率和采样速率对波束形成样本应用算术操作以产生具有较低幅度的样本。图 17 给出了示出在用于压缩具有不同的中心频率的波束形成样本的备选方式之下的原理的示例。以对应于图 17 中的标记为“带 1 (band1)”的行的基带信号的示例开始,中心频率接近于 DC (0Hz) 并且连续的样本之间的相位增加小于 10 度。第一相量图 710 示出,因为连续的样本之间的相位变化很小,所以连续的样本的差分的幅度相较于样本本身的幅度相对较小。第一示例序列 712 对应于带 1 基带信号的样本。由于

连续的样本之间的差分相对于样本幅度较小,所以计算一阶或更高阶差分,或者差分编码产生具有小于原始样本的数据宽度的差分样本。对于基带(带 1)示例,使用关于图 14 描述的差分编码压缩是高效的。在超声信号样本或波束形成样本下变频转换至基带的超声系统中,压缩单元 210i 可以应用差分编码。

[0102] 图 17 还给出了中心频率在 DC 之上,但是低于奈奎斯特(Nyquist)频率  $f_s/2$  的采样信号的示例。对于带 2,中心频率接近  $f_s/6$  而连续样本之间的相位增加为大约 60 度。第二相量图 720 示出,由 180 度,或者三个采样间隔所分隔的样本对,如样本对 (720-0, 720-3)、(720-1, 720-4) 和 (720-2, 720-5) 所示,具有相似的幅度以及相反的极性。反相对中的一个样本[或者乘以 (-1)] 提供对中的其他样本的密切估计。第二示例序列 722 还示出由三个采样间隔所分隔的样本具有相似的幅度以及相反的正负号。例如,样本 722-0 的值为 32767 而样本 722-3 的值为 -32756。对于带 2,对由三个采样间隔所分隔的样本的操作产生具有较小数据宽度的修改的样本。将对中的样本相加在一起的操作产生可以进行更高效编码的具有较小数据宽度的修改的样本。

[0103] 对于图 17 中的带 3 的示例,中心频率接近  $f_s/4$  而连续样本之间的相位增加为大约 90 度。第三相量图 730 示出,由 180 度,或者两个采样间隔所分隔的样本,具有相似的幅度和相反的极性。第三示例序列 732 还示出,每隔一个样本具有相似的幅度和相反的极性。对于带 3,将每隔一个样本相加将会产生具有可以进行比原始样本更高效率编码的具有较小数据宽度的修改的样本。

[0104] 对于图 17 中的带 4 的示例,中心频率接近  $f_s/3$  而连续样本之间的相位增加为大约 120 度。第四相量图 740 示出,由 360 度,或者三个采样间隔所分隔的样本,将具有相似的幅度。第四示例序列 742 示出,每三个样本具有相似的幅度。在这种情况下,在由 3 个采样间隔所分隔的样本之间形成差分将会给出可以进行比原始样本更高效率编码的具有较小数据宽度的修改的样本。

[0105] 对于图 17 中的带 5 的示例,中心频率接近  $f_s/2$  而连续样本之间的相位增加为大约 180 度。第五相量图 750 示出,由 180 度,或者一个采样间隔所分隔的样本,将具有相似的幅度以及相反的极性。第五示例序列 752 示出连续样本具有相似的幅度和相反的极性。在这种情况下,将两个连续样本相加将形成可以进行比原始样本更高效率编码的具有较小数据宽度的变更的样本。

[0106] 上述对于图 17 描述的示例示出,根据采样速率与中心频率的比率,幅度降低能够通过由 1、2 或 3 个采样间隔所分隔的波束形成样本上,执行比如加(或者反相随后减)或减(或者反相随后加)的操作而实现。产生的修改的样本随后被编码以形成压缩的样本。可以根据中心频率与采样速率的比率,将类似的操作应用到由四个或更多个采样间隔所分隔的样本,以产生具有比原始样本更小的数据宽度的修改的样本。

[0107] 图 18 为基于波束形成样本的中心频率的压缩算法的框图。对应于特定波束的波束形成器输出通道 161i 输入到重新排序解复用器 810。重新排序解复用器 810 选择波束形成样本,从而使选择的样本依据压缩控制参数 852 由合适数量的采样间隔所分隔,以形成解复用器输出 812。算术运算器 830 依据压缩控制参数 856 在解复用器输出样本对 812 上执行加或减运算,以形成修改的样本 832。算术运算器 830 还可以被配置以在解复用器输出样本 812 上执行更高阶差分。编码器 840 编码修改的样本 832 以形成压缩的波束形成样

本。编码器 840 应用块浮点编码、Huffman 编码或者其他编码以形成压缩的样本。针对关于图 7 和 11 描述的块浮点编码,将修改的样本 832 提供给块浮点编码器的输入 401。

[0108] 压缩控制器 860 基于采样速率与波束形成样本的中心频率的比率,将控制参数提供给压缩器元件。重新排序解复用器 810 和算术运算器 830 相应地响应于压缩控制参数 852 和 856,以执行合适的操作。图 19 示出了基于中心频率产生修改的样本的操作。第一列 871 给出了对于这个示例的可能的中心频率。第二列 872 给出了每个中心频率的相应的频带指示符。指示符可以作为压缩控制参数 852 和 856 使用。第三列 873 给出了依据压缩控制参数 852 在重新排序解复用器输出 812 处产生的样本  $x(i)$  和  $x(j)$  的不同分隔。第四列 874 示出了依据压缩控制参数 856 选择加或减的算术运算的结果。当反相器在延迟的样本“上”时,  $x(i-j)$  被减去。第五列 875 示出了产生修改的样本 832 或  $y(i)$  的算术运算器 830 的数学结果。压缩控制器 860 还提供编码器 840 的控制。压缩控制参数 858 可以指示块浮点编码、Huffman 编码或者其他编码技术的参数。

[0109] 图 20 给出了如关于图 18 和 19 描述的对于不同中心频率计算出的图 17 的示例的样本  $x(i)$  与  $x(i-j)$  的和或者差。样本的示例序列与图 17 中的相同。示例序列 912 和 942 中的 DIFF 行以及示例序列 922、932 和 952 中的 SUM 行中的样本具有基本上低于相应的样本或  $x(i)$  的幅度。DIFF 样本和 SUM 样本为输入至图 18 中的编码器 840 的修改的样本 932 的示例。

[0110] 如以上关于图 6 和图 12 所描述,在图 18 中压缩器输出 211i 处由编码器 840 产生的压缩的波束在数字接口 220 上传输之前可以与其他压缩的波束复用以形成较少的输出通道。编码器 840 可以对修改的样本应用块浮点编码从而使图 12 中的压缩组  $G_{ij}$  代表  $N\_GROUP$  个编码的修改的样本组以形成压缩的波束  $C_1$  和  $C_2$ 。备选地,编码器 840 可以对修改的样本应用 Huffman 编码从而使  $G_{ij}$  代表具有每组  $N\_GROUP$  个 Huffman 编码的修改的样本的压缩组。组复用器 252 结合压缩的波束  $C_1$  和  $C_2$  的压缩组以形成复用的序列  $D_1$ 。

[0111] 图 21 为对于关于图 18 描述的压缩方法的由解压缩器 240 所执行的操作的框图。解码器 910 对压缩的数据解包并且执行解码(例如块浮点解码)操作,以形成解码的修改的样本。逆算术运算器 920 执行对算术运算器 830 的逆运算以从解码的修改的样本重建波束形成样本。复用器 930 将原始样本次序恢复到解压缩的波束形成样本以形成相应的解压缩的波束。解压缩控制器 940 将控制参数提供给解码器 910、逆运算器 920 以及恢复次序复用器 930。解压缩控制器 940 可以从压缩的数据包的报头中提取控制数据以确定用于解压缩操作的控制参数。

[0112] 图 21 的解压缩器 240 可于解复用组之前应用到修改的样本的压缩组的复用的序列。解码器 910 逆转编码器 840 的操作以解码压缩组,按照组次序形成解码的修改的样本组。对于其中指数令牌被差分编码的块浮点解码,解码器 910 使用组次序来积分指数令牌以确定对应于相同波束的压缩组的  $n\_exp$  值。逆运算器 920 以及恢复次序复用器 930 也使用组次序和  $n\_exp$  来将它们的相应操作应用到对应于相同波束的解码的修改的样本组。恢复次序复用器 930 将每组内的解压缩的波束形成样本重新排序到原始样本次序以形成解压缩组;然而,解压缩组仍然按照组次序。参考图 13,恢复次序复用器 930 的输出对应于解压缩的序列 241 的解压缩组  $R_{ij}$ 。组解复用器 254 将解压缩组  $R_{ij}$  分为相应的解压缩的波束 253 和 255。

[0113] 备选地,如图 22 中所示,解码的修改的样本组可以在逆运算器 920 之前解复用。解码器 910 逆转编码器 840 的操作来解包和解码压缩组以形成按照组次序的相应的解码的差分样本组。对于其中指数令牌被差分编码的块浮点解码,解码器 910 使用组次序来积分指数令牌以确定对应于相同波束的压缩组的  $n_{exp}$  值。解码的修改的样本组具有相同的每个修改的样本的比特数量。组解复用器 254 分离解码的修改的样本组以形成对应于每个波束的解码的修改的样本的阵列。逆运算器 920i 与 920j 应用到相应的解码的修改的样本的阵列并且恢复次序复用器 930i 与 930j 恢复相应的原始样本次序以分别形成第 i 与第 j 解压缩的波束。

[0114] 压缩器 210 的实施方式对波束形成样本应用简单操作。差分运算器 330i (图 14) 包括一个或多个减法器。块浮点编码 (图 7 和 11) 使用比较器、减法器以及查询表。备选地, Huffman 编码使用查询表为值分配代码。关于图 18 描述的压缩操作包括解复用、加以及减。用于解压缩器 240 的实施方式应用简单操作以对压缩的样本进行解压缩。解压缩器 240 包括用于块浮点解码的查询表和加法器。积分运算器 354 (图 15) 包括一个或多个用于积分解码的样本的加法器。图 21 中的解压缩器 240 的操作包括加、减和复用。

[0115] 本发明的优选实施方式在超声系统中将压缩器 210 和接收波束形成器 160 集成在具有耦合以接收来自 ADC 输出通道 121i 的超声信号样本的输入数据通道的单个专用集成电路 (application specific integrated circuit, 简称 ASIC) 设备中。压缩器 210 的优选实施包括多个并行的压缩核, 其中每个压缩核耦合到波束形成器输出通道 161i 中的一个并且对相应的波束实施一个压缩单元 210i 的压缩操作。备选地, 一个压缩核可以实施多个压缩单元 210i 以压缩多个波束。对于这种备选方式, 压缩核包括缓冲器用以存储对应于不同波束的波束形成样本, 直到它们被处理。波束形成与压缩操作还可以在现场可编程门阵列 (field programmable gate array, 简称 FPGA) 中实施。压缩的波束形成样本可以在 LVDS 端口 270i 上输出至数字接口 220。用于 LVDS 接口的 IP 核可商业得到用于 ASIC 和 FPGA 实施。备选架构包括在与接收波束形成器 160 分离的设备中实施压缩器 210。压缩器 210 可以在 ASIC、FPGA 或者可编程处理器, 比如数字信号处理器 (digital signal processor, 简称 DSP)、微处理器、微控制器、多核 CPU (比如 IBM Cell), 或者图形处理单元 (graphics processing unit, 简称 GPU; 比如 Nvidia GeForce) 中实施。

[0116] 根据超声系统架构, 可以将解压缩器 240 并入诊断信息处理器 180 的同一设备或者作为与其不同的设备。解压缩操作可以在 ASIC 或者 FPGA 中实施。备选地, 解压缩操作可以在可由比如 DSP、微处理器、微控制器、CPU 或者 GPU 等可编程处理器执行的软件或固件程序中实施。解压缩器 240 的优选实施为具有用于可由 GPU 执行的解压缩操作的指令的软件程序。GPU 也可以被编程以实施诊断信息处理器 180 和扫描转换器 140 的至少一部分操作。备选地, 解压缩的波束形成样本可以传输到另一可编程处理器, 比如 CPU, 用于额外的信号处理操作。

[0117] 图 23 为 GPU 中的解压缩器以及其他用以生成超声图像的操作的实施的框图。当前的 GPU 架构包括多个被优化用于并行计算的处理核。例如, Nvidia GeForce GTS 150 GPU 包括 128 个处理核。Nvidia 的 “CUDA” (Compute Unified Device Architecture, 计算统一设备架构) 是包括用于在 GPU 的处理核上实施并行算法的 C 语言的扩展的应用编程接口 (application programming interface, 简称 API), 其在标题为 “Getting Started with

CUDA”的文件 (Ruetsch 和 Oster, Nvidia Corp., 2008) 中描述。以下所述的比如 OpenCL 和 Larrabee 之类的备选的 GPU 和编程方法可以提供实施平台。对于图 23 中描绘的实施, GPU 设备 1000 可被编程以执行解压缩器 240、诊断信息处理器 180 (B- 模式处理以及多普勒处理)、扫描转换器 140 以及图像处理器 150 的操作。GPU 设备 1000 可以包括可由并行处理单元访问的动态随机访问存储器 (dynamic random access memory, 简称 DRAM) 1002。DRAM 1002 可以存储由 GPU 的其他处理操作所产生的数据和压缩的和 / 或解压缩的波束形成样本。系统控制器 1010 提供从接收的数据产生超声图像的任务的协调并响应于用户指令。CPU 1012 可以实施支持解压缩的操作, 比如从压缩包的报头解码压缩控制参数并将它们提供给 GPU 设备 1000 用于配置解压缩操作。DRAM 1016 可以存储接收自数字接口 220 的压缩的波束形成样本以及其他 CPU 操作所需的数据。通信控制器 1014 将接收自数字接口 220 的压缩包引导至 DRAM 1002 或 DRAM 1016 并且管理系统控制器 1010 和 GPU 设备 1000 之间的数据交换。

[0118] 在优选的系统架构中, 系统控制器 1010 可以在具有用于显示的屏幕 160 的计算机的主板中实施。GPU 设备 1000 可以在包括 DRAM 1002, 与系统控制器 1010 通过 PCIe (Peripheral Component Interconnect Express, 外围组件互连高速) 背板链路而通信的图形卡中实施。备选地, GPU 设备 1000 可以在安装在主板上的 IC 中实施。在 ADC 库 120、接收波束形成器 160 以及压缩器 210 安装在数据采集卡中的系统架构中, 数字接口 220 可以由 PCIe 背板链路来实现。

[0119] 应该认识到, 依照摩尔定律 (Moore's Law), 更高水平的集成将提供更加紧凑的设备, 从而使系统控制器 1010 和 GPU 设备可以在单个 IC 中实施。例如, Intel 公司正在开发包括以向量处理单元增强的 x86 CPU 核的多个实例的多核 IC 架构。此架构称为 Larrabee, 在标题为 “Larrabee: A Many-Core x86 CPU Architecture for Visual Computing” 的文件 (Seiler 等人, ACM Transactions on Graphics, Vol. 27, No. 3, Article 18, August 2008) 中描述。Larrabee 架构支持需要包括图形处理的并行处理的应用。“Larrabee Native” 编程模型包括用于并行编程和向量化的 C/C++ 和 API。

[0120] 图 24 为 CPU/GPU 设备中的解压缩器 240 以及其他用以产生超声图像的操作的实施的框图。CPU/GPU 设备 1020 可以实施解压缩器 240、诊断信息处理器 130、扫描转换器 140 和图像处理器 150 的操作。CPU/GPU 控制器 1022 协调对接收自数字接口 220 的压缩的波束形成样本的处理操作并响应于用户输入。CPU/GPU 设备 1020 可以由 Larrabee 平台或者其他具有集成的 CPU 和 GPU 功能的可编程设备所实施。

[0121] 在 ADC 库 120、接收波束形成器 160 以及压缩器 210 安置于换能器头中的系统架构中, 数字接口 220 可以是有线或无线通信链路。对于有线通信链路, 数字接口可以由 PCIe 电缆链路或者光纤链路来实施。对于无线通信链路, 数字接口可以提供数字调制以及经由射频信道的压缩包的传输以及接收的压缩包的数字解调。无线链路可以遵守无线通信协议, 比如 WiFi (IEEE 802.11) 或者 UWB (ultra-wideband, 超宽带) 格式。

[0122] 虽然示出和描述了本发明的优选实施方式, 但是应该清楚, 本发明不仅仅限定在这些实施方式。众多修改, 变化, 变体, 替代和等同将会在不脱离权利要求中所描述的本发明的精神和范围的前提下对本领域技术人员变得明显。



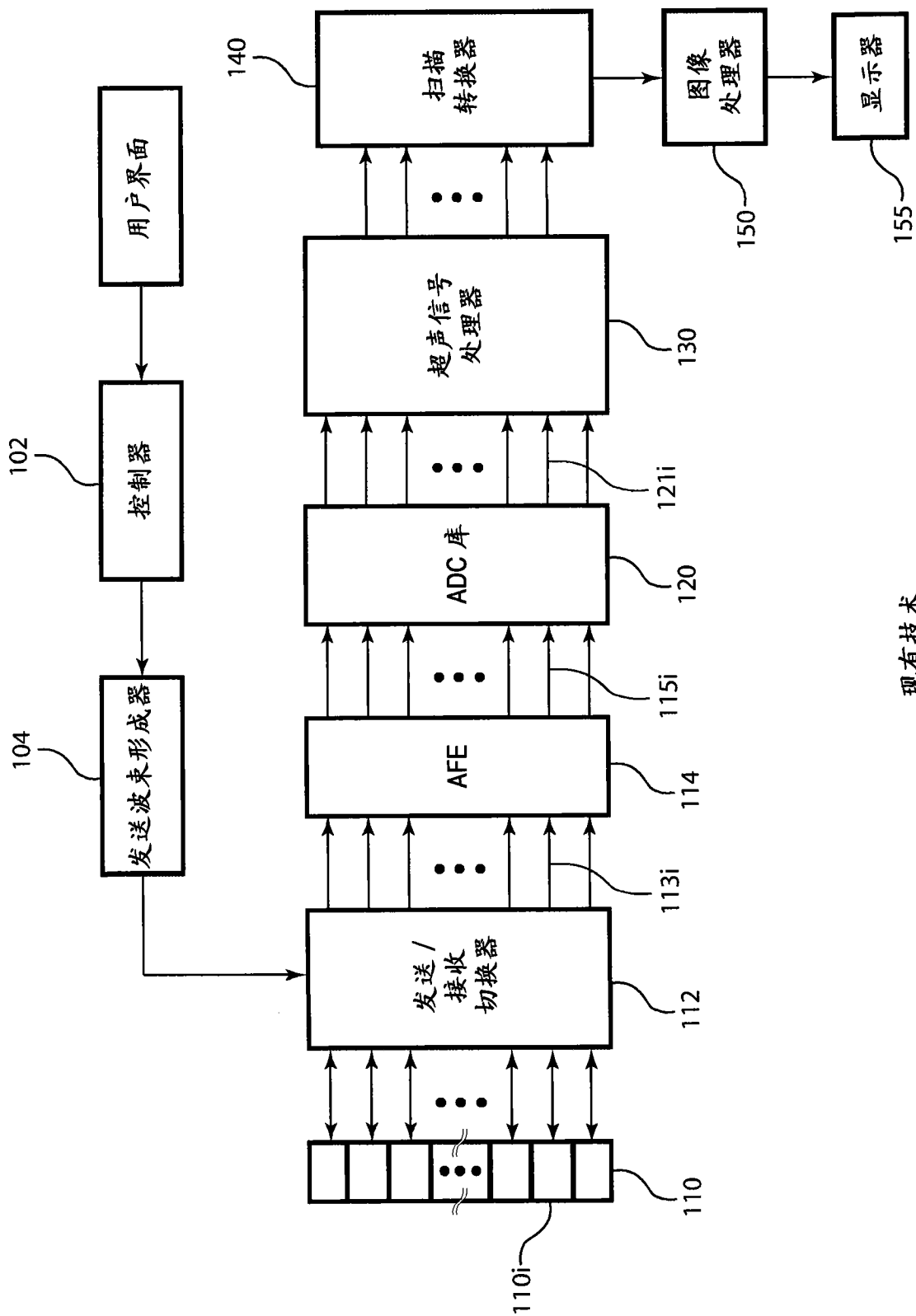


图 1

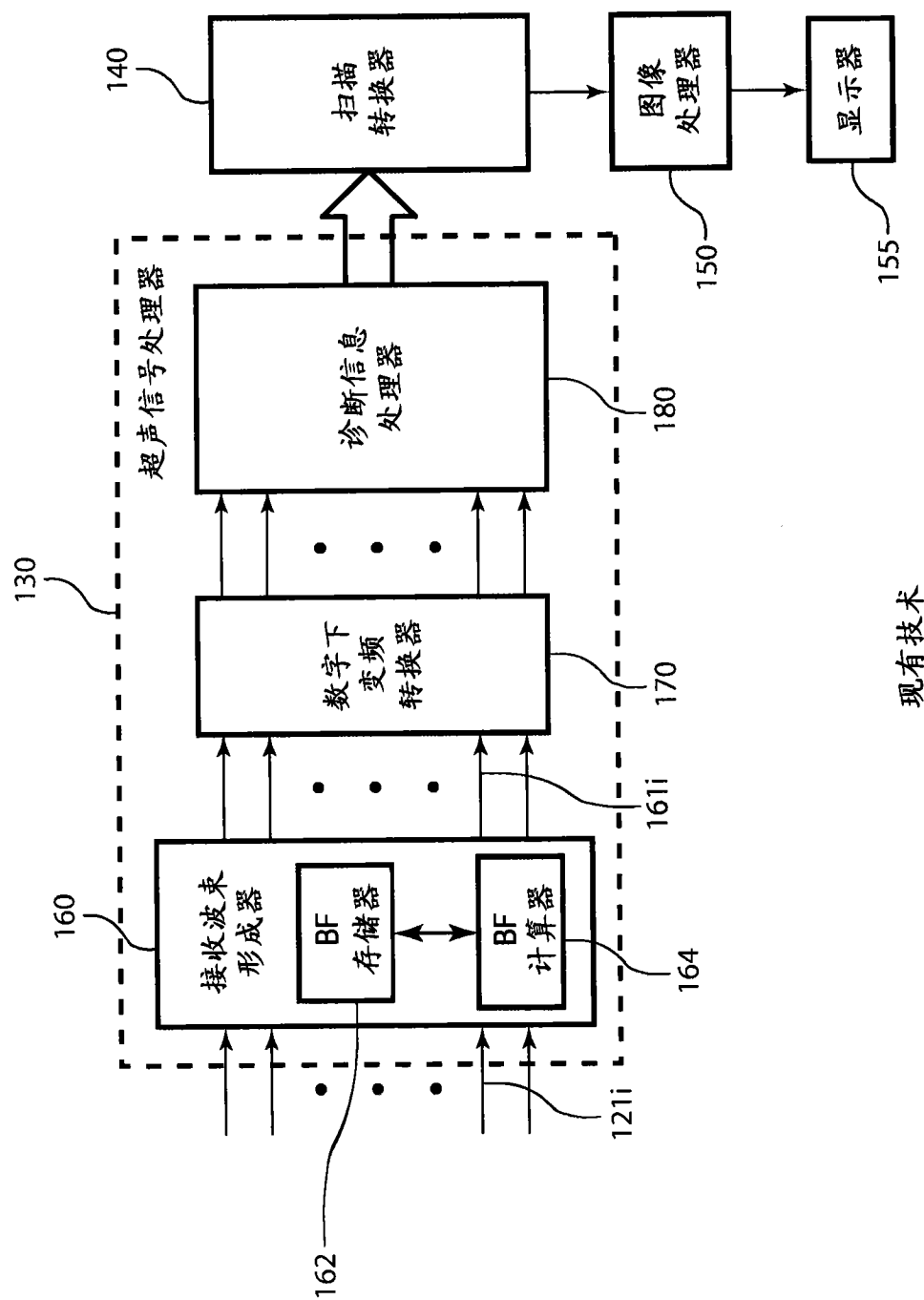


图 2

现有技术

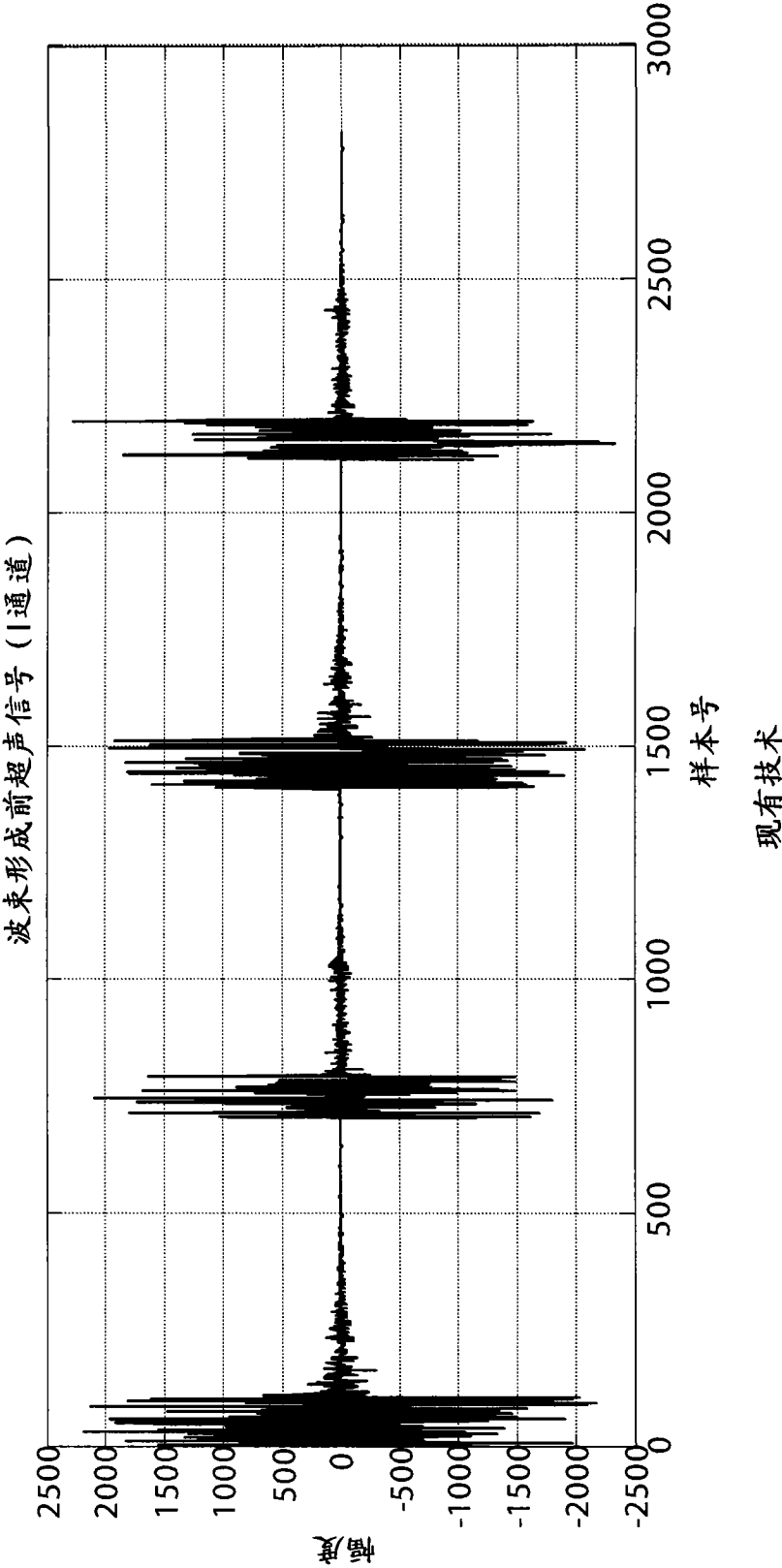


图 3

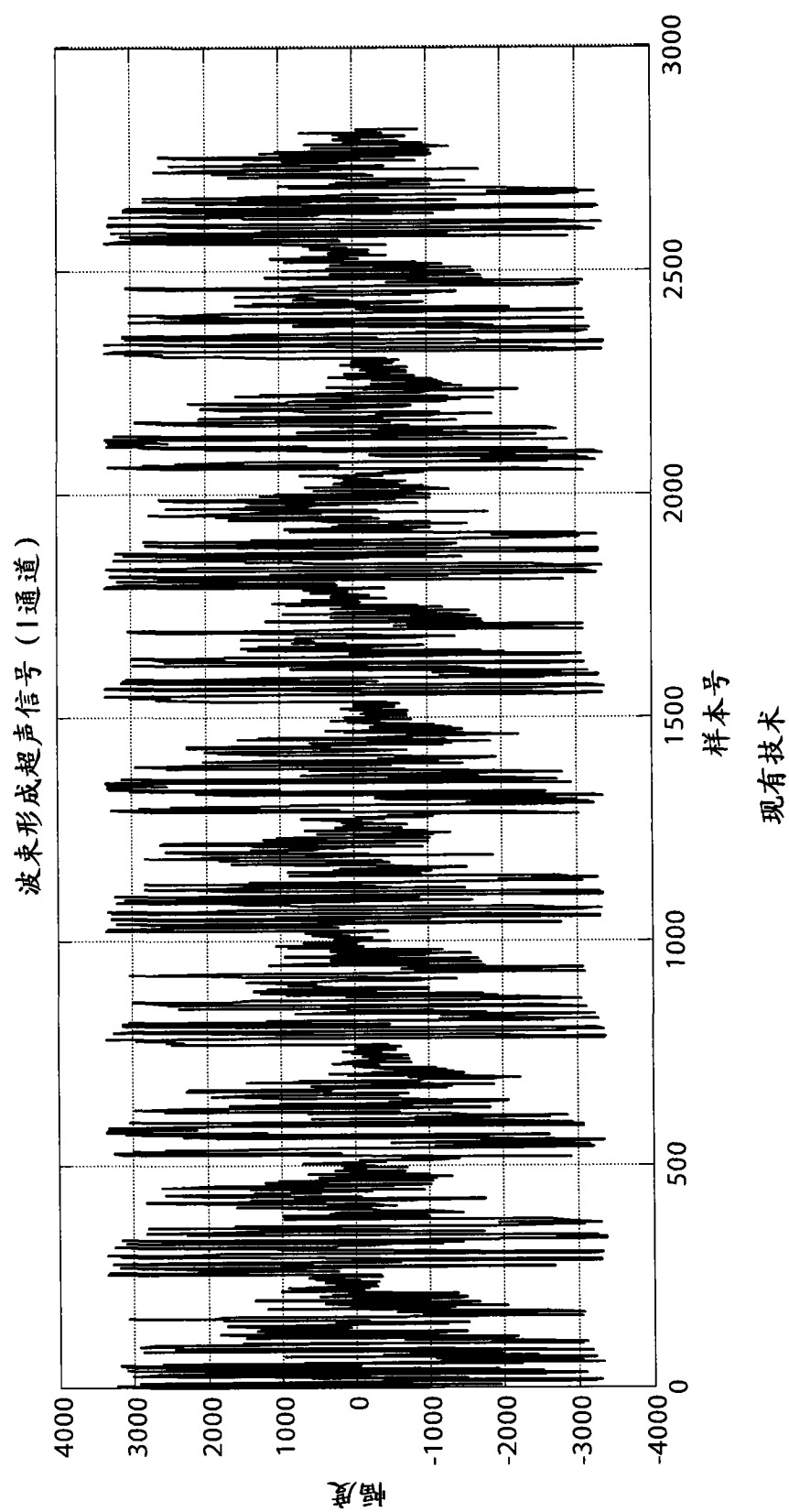


图 4

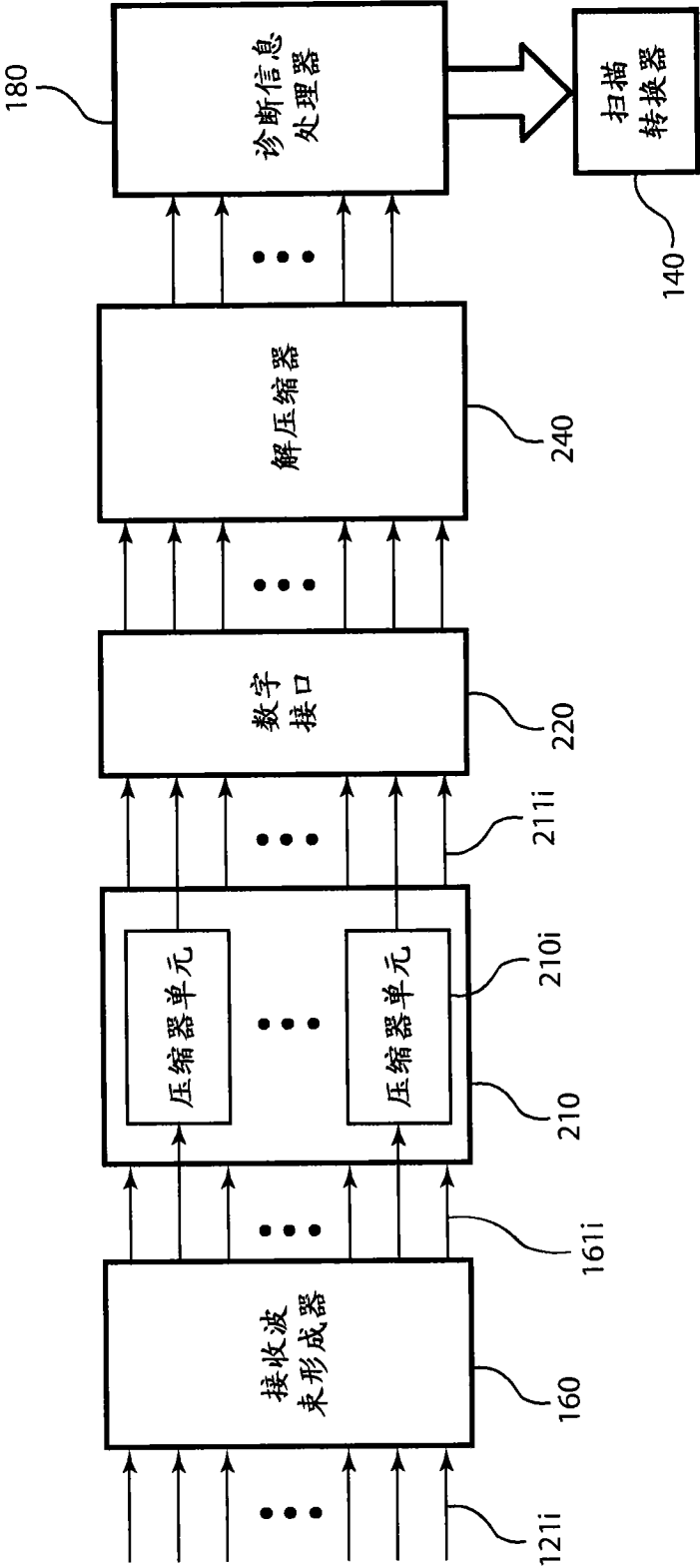


图 5

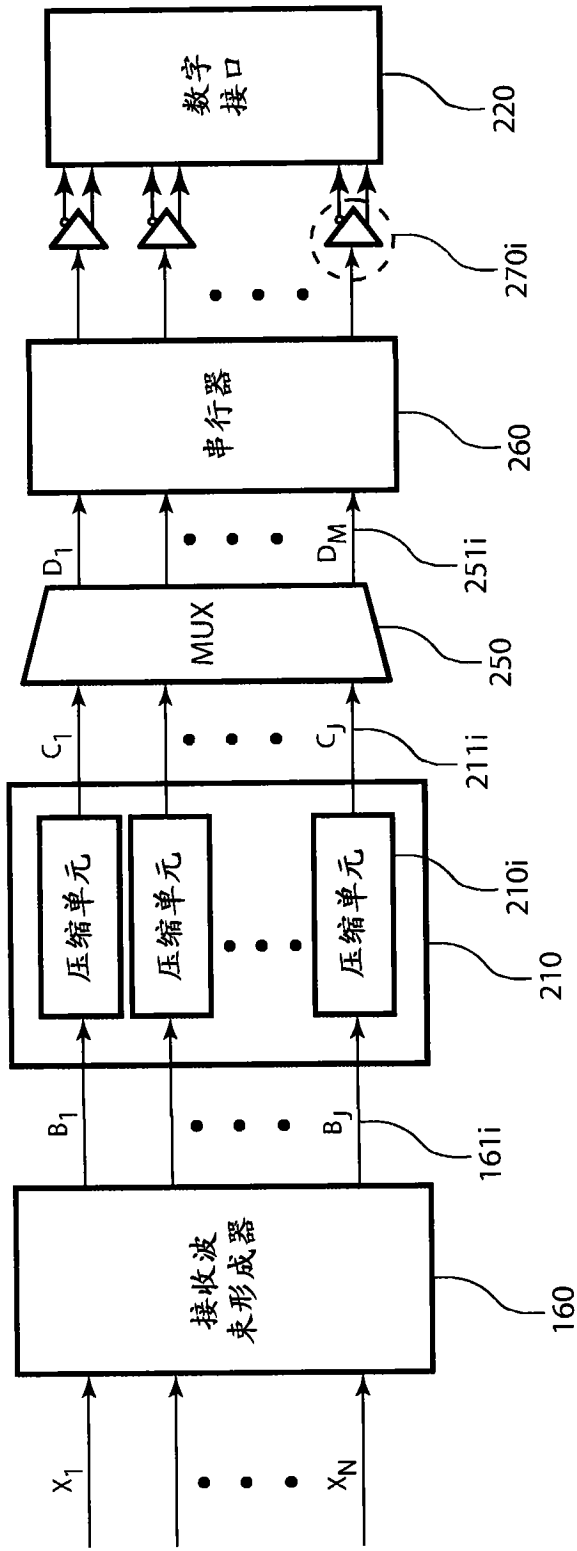


图 6

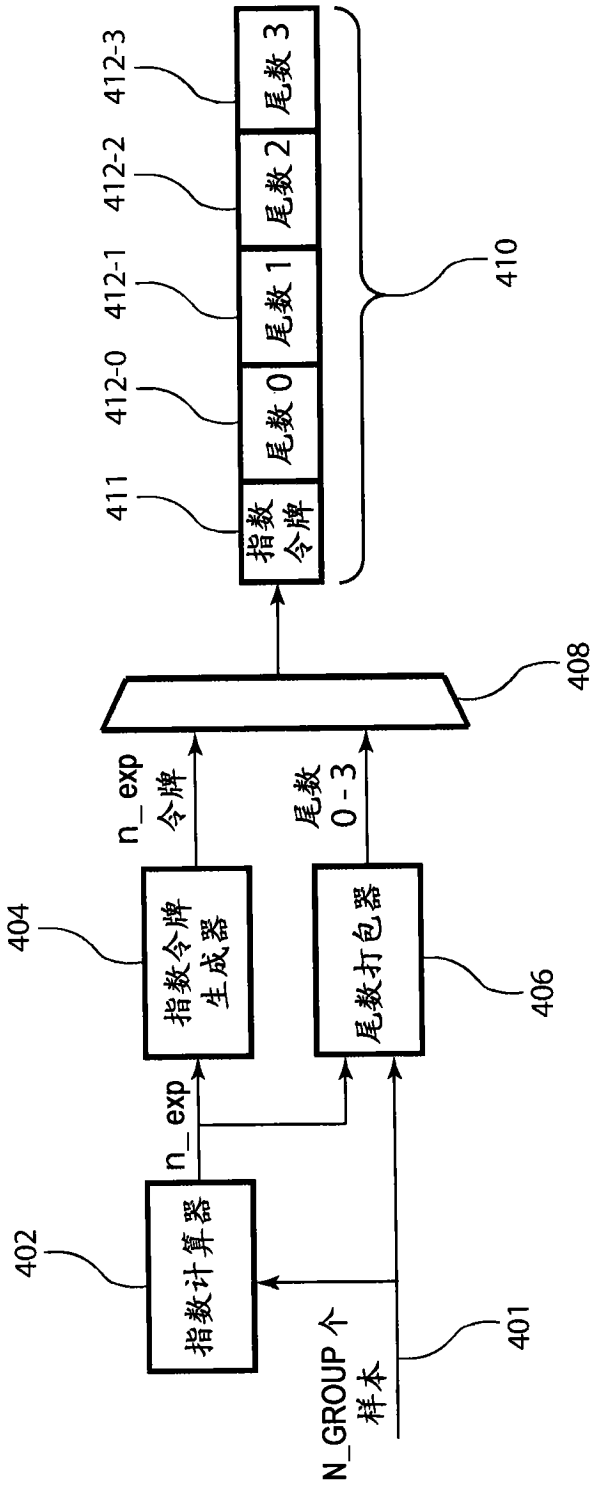


图 7

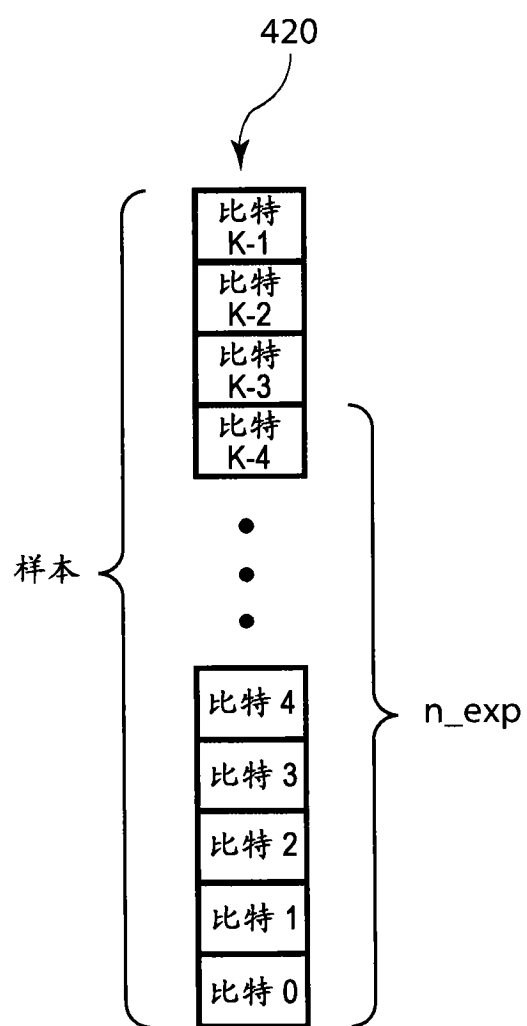


图 8

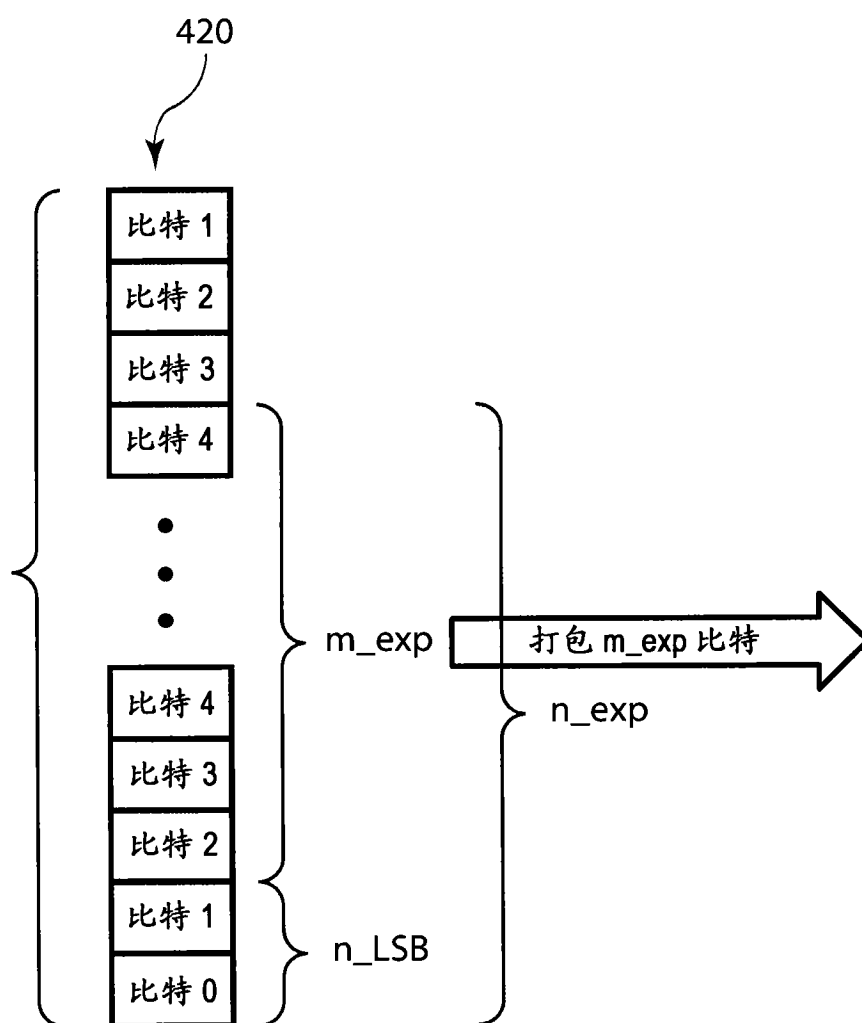


图 9



n_exp	n_LSB	m_exp
0	0	0
2	0	2
3	0	3
4	1	3
5	1	4
6	1	5
7	1	6
8	2	6
9	2	7
10	2	8
11	2	9
12	3	9
13	3	10
14	4	10

图 10

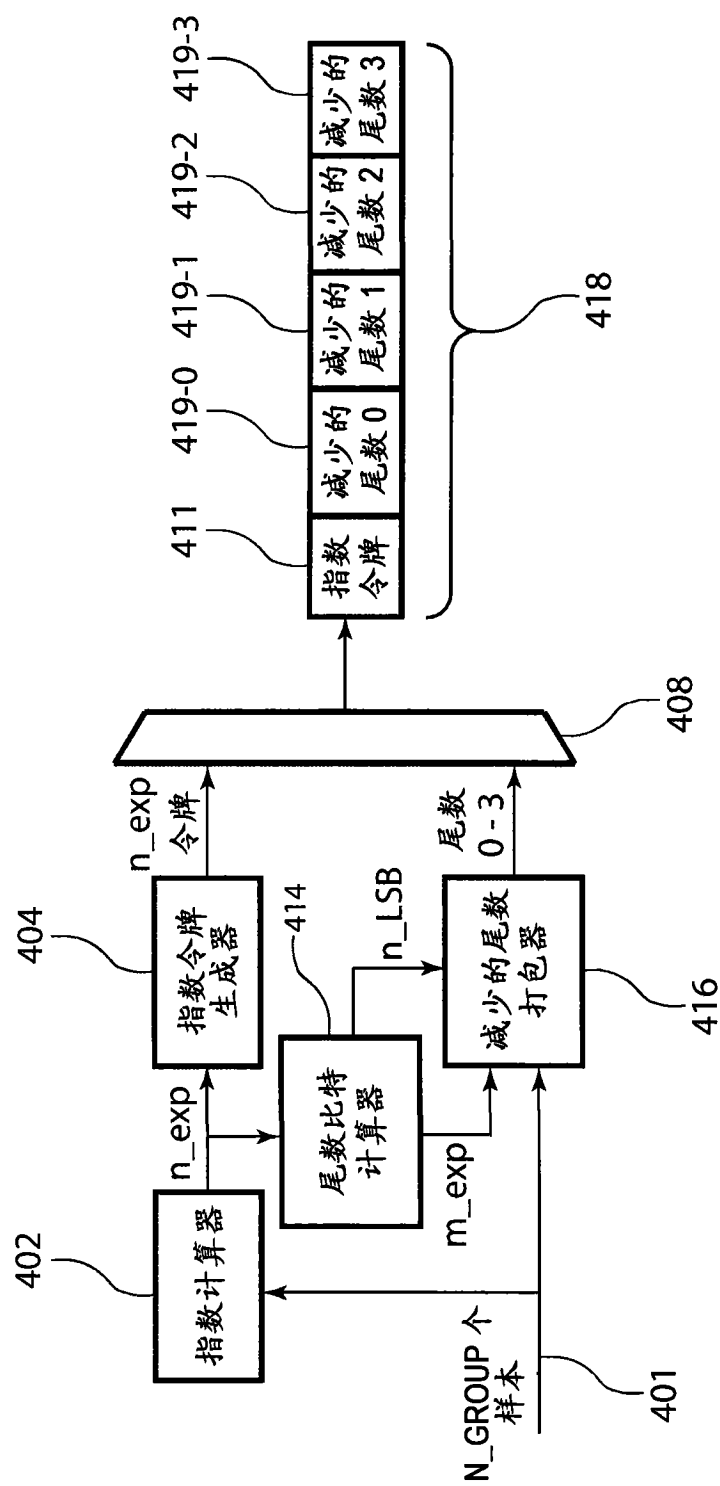


图 11

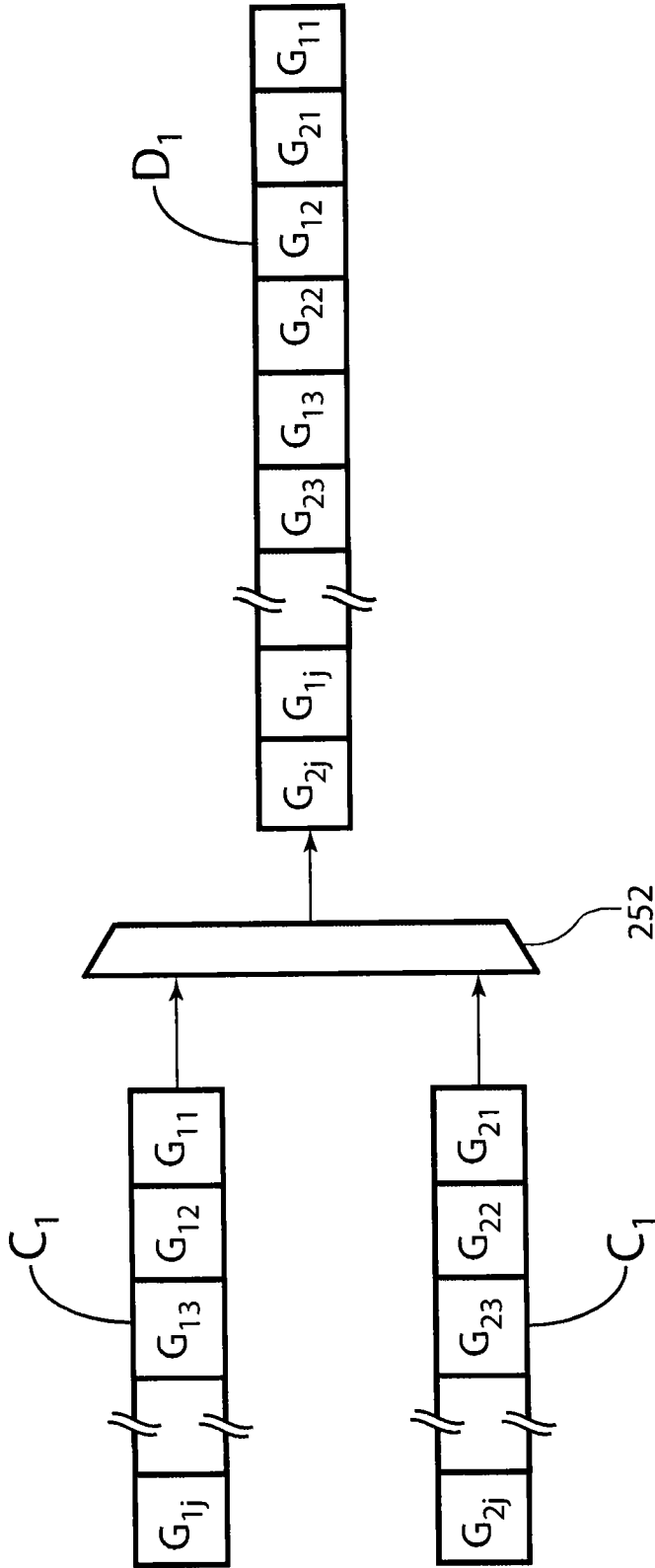


图 12

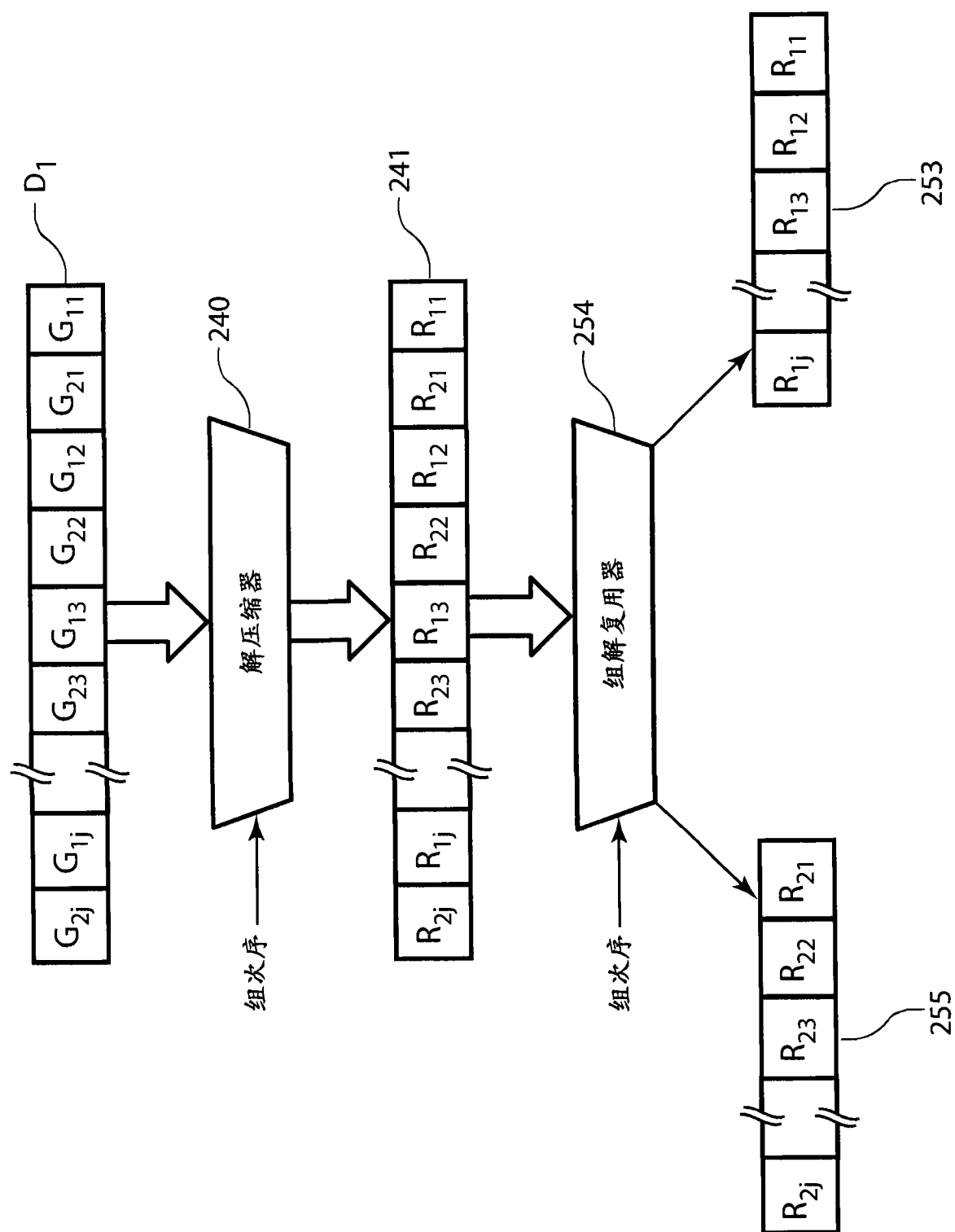


图 13

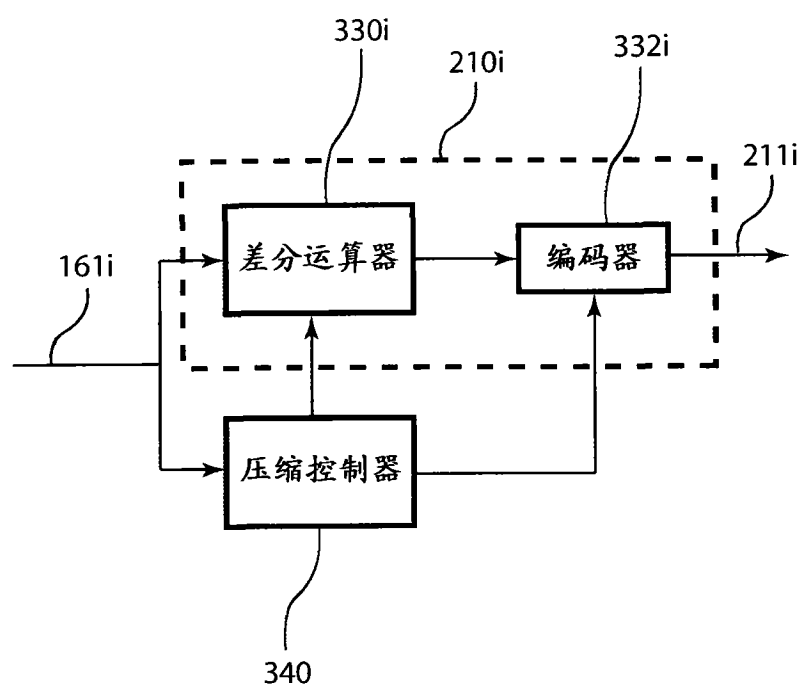


图 14

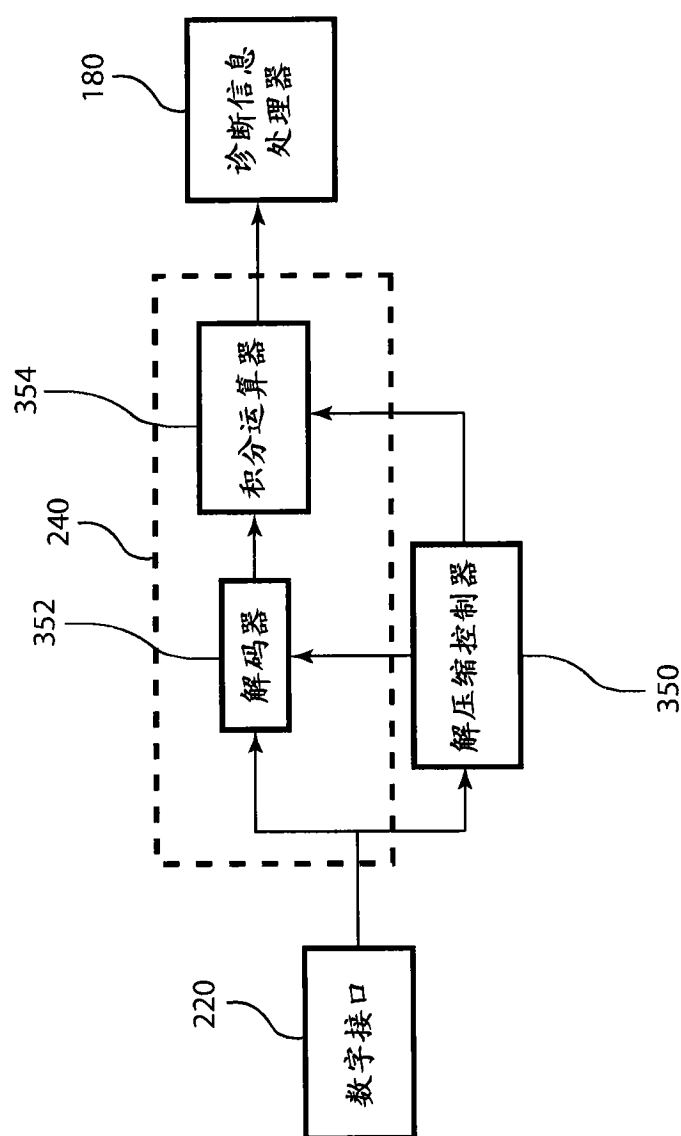


图 15

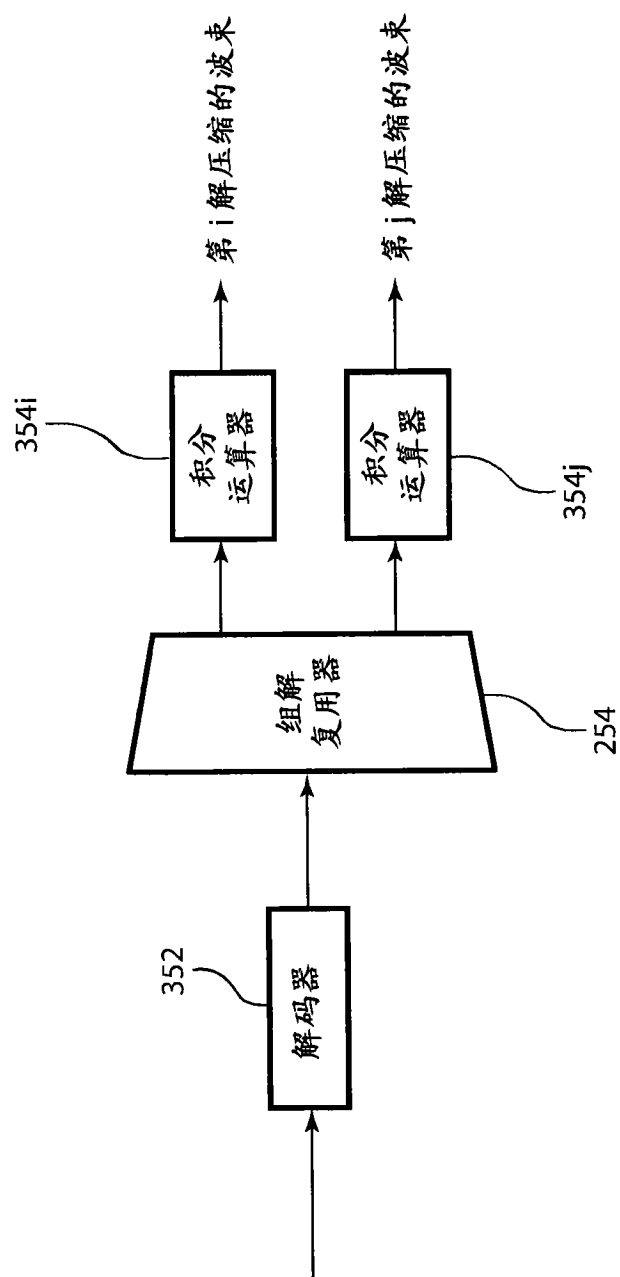


图 16

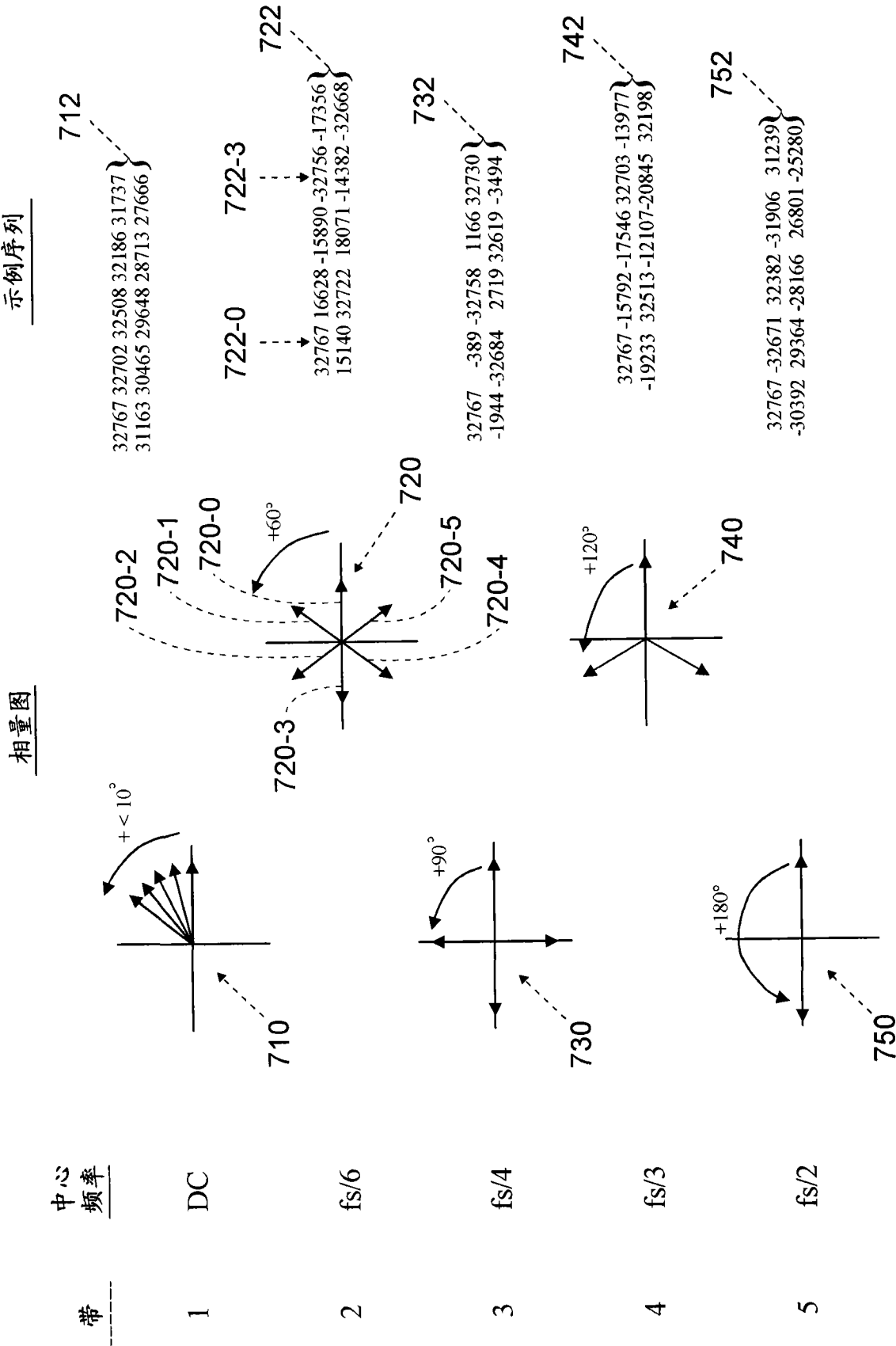


图 17



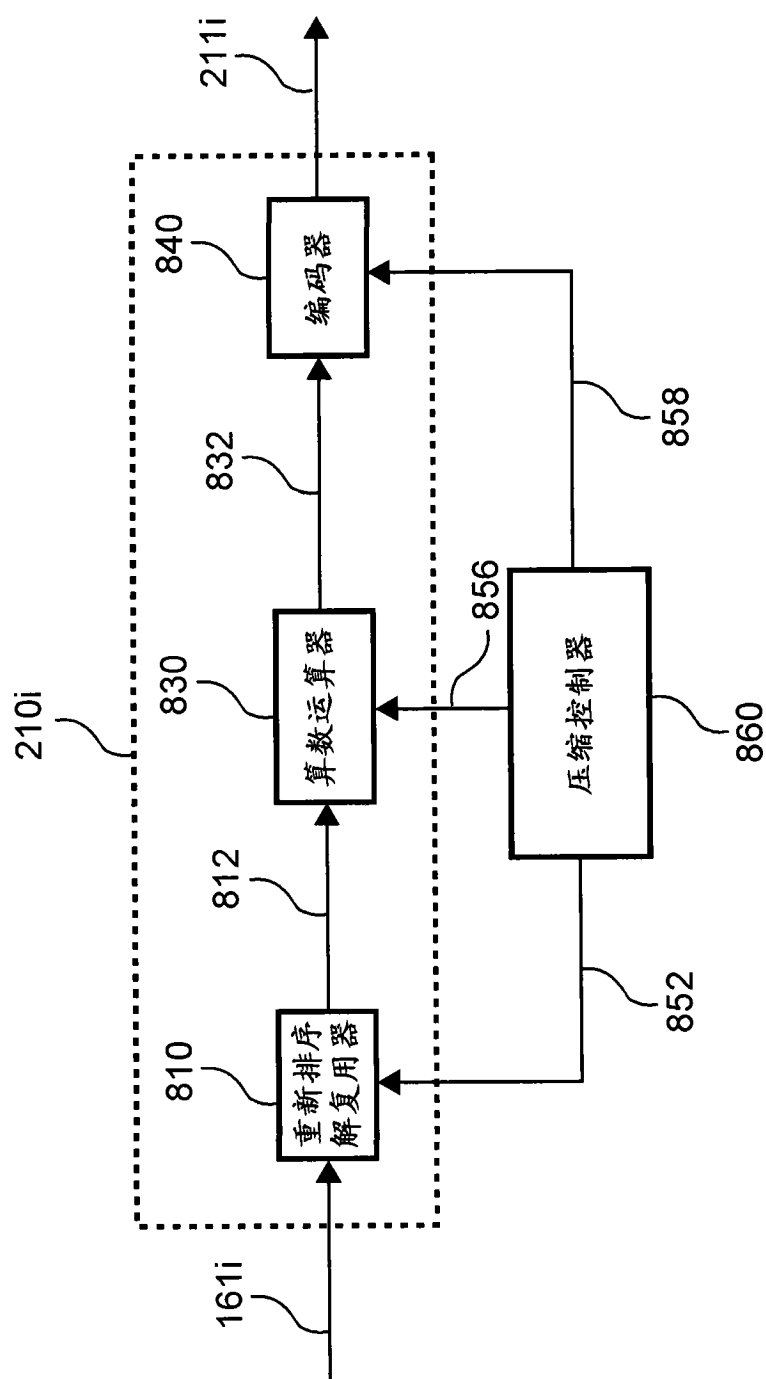


图 18

871	872	873	874	875
↓	↓	↓	↓	↓
中心 频率	频带 指示符	解复用器 控制 x(i), x(i-j)	反相器 控制	修改的 样本
DC	1	x(i), x(i-1)	on = -x(i-1)	$y(i) = x(i) - x(i-1)$
fs/6	2	x(i), x(i-3)	off	$y(i) = x(i) + x(i-3)$
fs/4	3	x(i), x(i-2)	off	$y(i) = x(i) + x(i-2)$
fs/3	4	x(i), x(i-3)	on = -x(i-3)	$y(i) = x(i) - x(i-3)$
fs/2	5	x(i), x(i-1)	off	$y(i) = x(i) + x(i-1)$

图 19

带	中心 频率	修改的样本	示例差或和
1	DC	$y(i) = x(i) - x(i-1)$	<div>912 ↓ x(i): 32767 32702 32508 32186 31737 31163 30465 29648 x(i - 1): 32767 32702 32508 32186 31737 31163 30465 29648 DIFF: -65 -194 -322 -449 -574 -707 -781 -935</div> <div>922 ↓ x(i): 32767 16628 -15890 -32756 -17356 -15140 32722 18071 x(i-3): --- --- --- 32767 16628 -15890 -32756 -17356 SUM: --- --- --- 11 -728 -750 -34 715</div>
2	$f_s/6$	$y(i) = x(i) + x(i-3)$	<div>932 ↓ x(i): 32767 -389 -32758 1166 32730 -1944 -32684 2719 32619 x(i-3): --- --- 32767 -389 -32758 1166 32730 -1944 -32684 SUM: --- --- 9 777 28 -778 46 775 -65</div> <div>942 ↓ x(i): 32767 -15792 -17546 32703 -13977 -19233 32513 -12107 -20845 x(i-3): --- --- --- 32767 -15792 -17546 32703 -13977 -19233 DIFF: --- --- --- -64 1815 -1687 -190 1870 -1612</div>
3	$f_s/4$	$y(i) = x(i) + x(i-2)$	<div>952 ↓ x(i): 32767 -32671 32382 -31906 31239 -30392 29364 -28166 26801 x(i-3): --- 32767 -32671 32382 -31906 31239 -30392 29364 -28166 SUM: --- 96 -289 476 -667 847 -1028 1198 -1356</div>
4	$f_s/3$	$y(i) = x(i) - x(i-3)$	
5	$f_s/2$	$y(i) = x(i) + x(i-1)$	

图 20

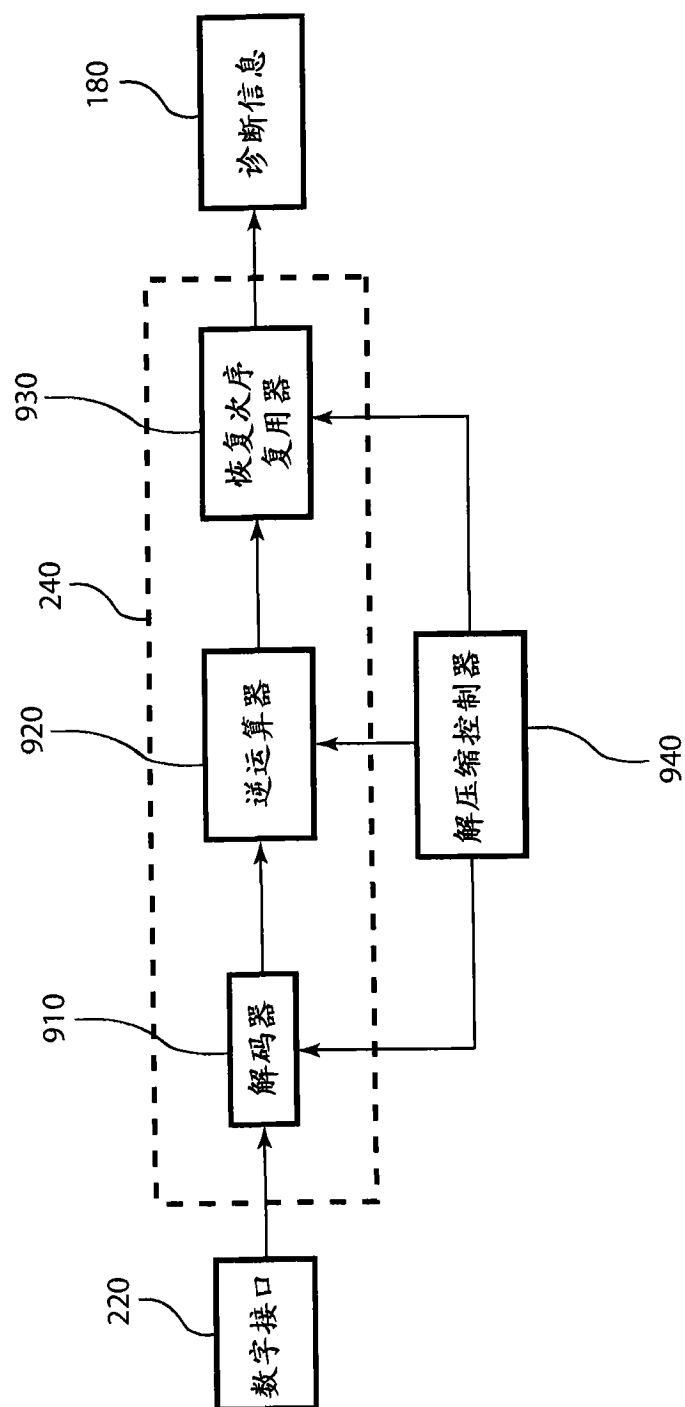


图 21

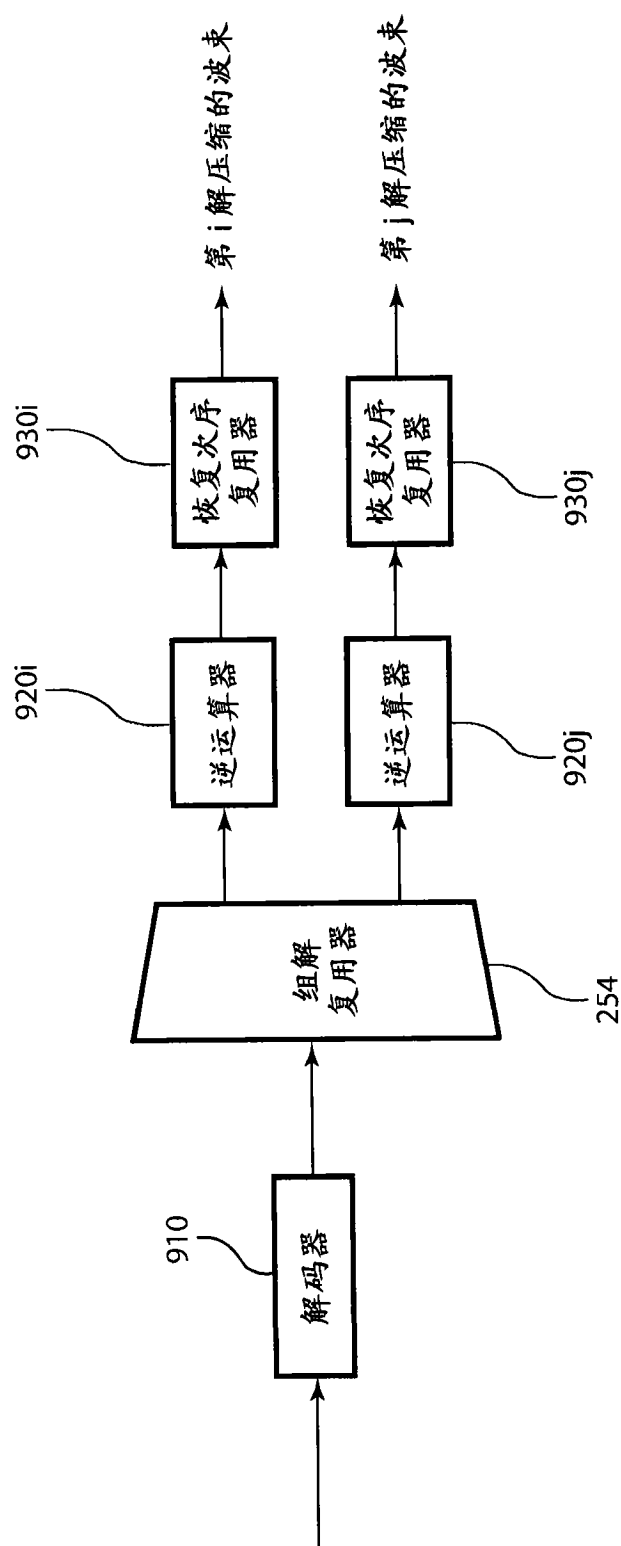


图 22

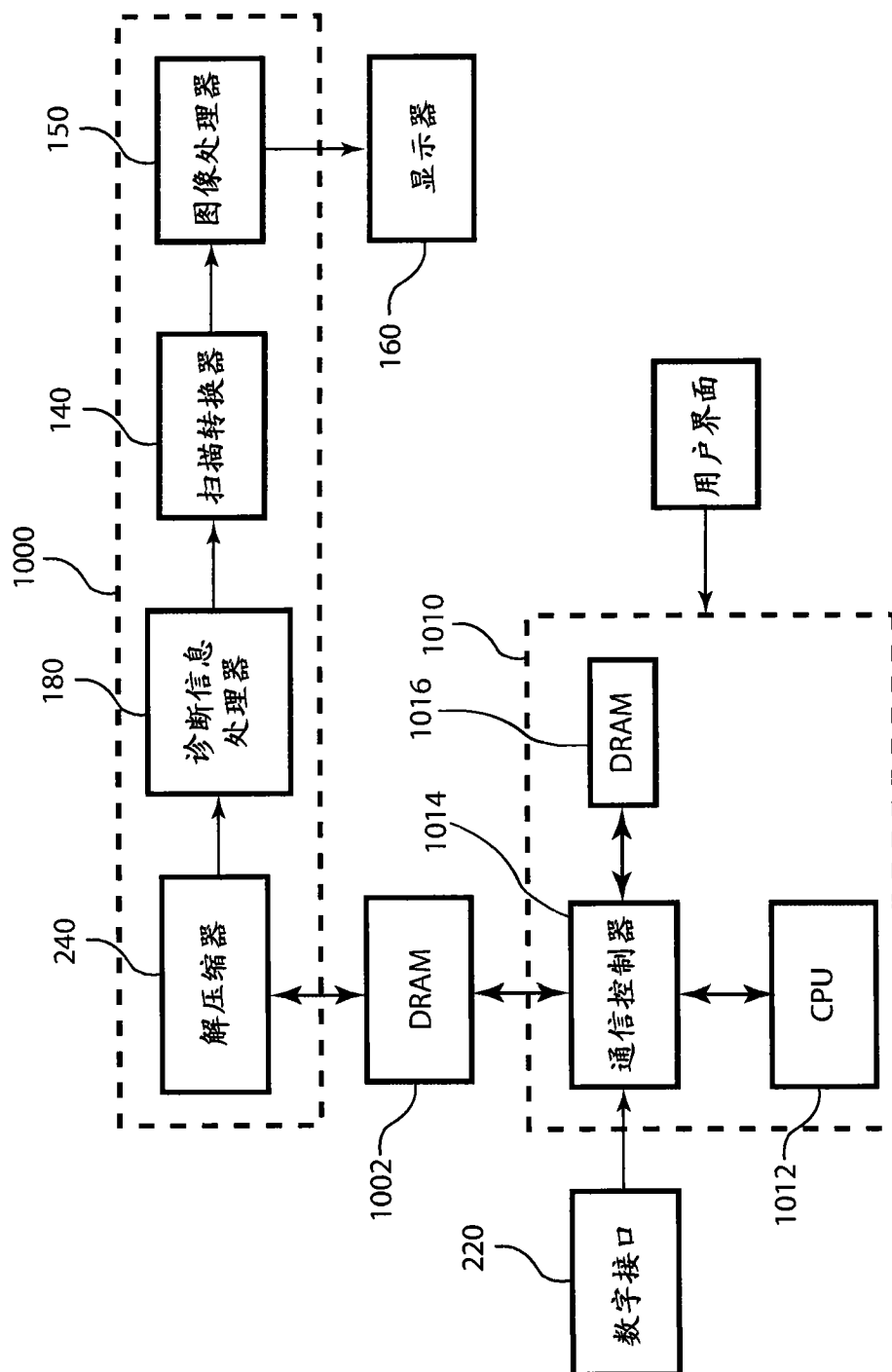


图 23

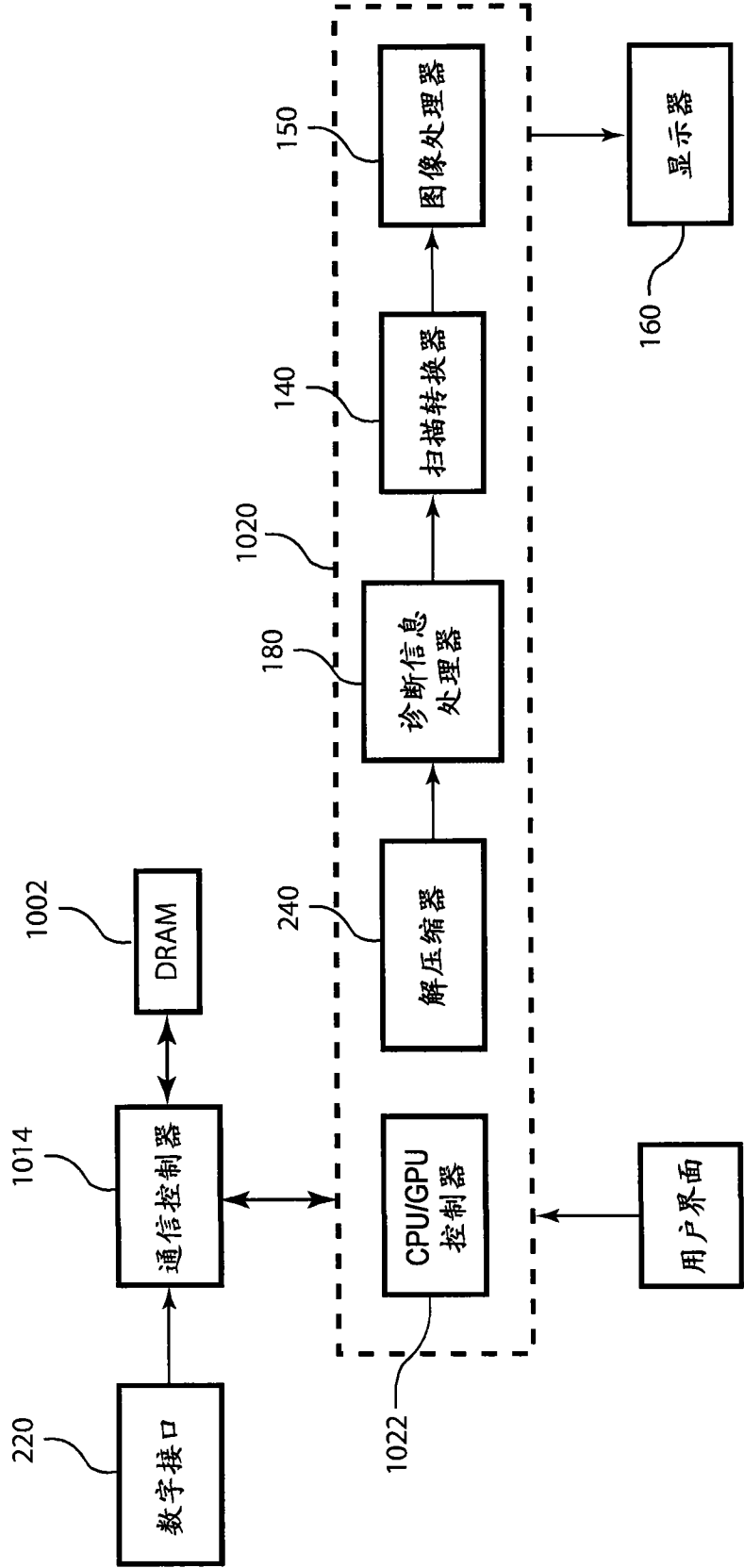


图 24

专利名称(译)	超声系统中的波束形成后压缩		
公开(公告)号	<a href="#">CN101933814B</a>	公开(公告)日	2012-07-25
申请号	CN201010185453.8	申请日	2010-05-20
[标]申请(专利权)人(译)	信飞系统公司		
申请(专利权)人(译)	信飞系统公司		
当前申请(专利权)人(译)	信飞系统公司		
[标]发明人	阿尔伯特W魏格纳		
发明人	阿尔伯特· W· 魏格纳		
IPC分类号	A61B8/00		
CPC分类号	A61B8/13 A61B8/488 A61B8/54 G01S7/52034 A61B8/06		
代理人(译)	王茂华		
优先权	12/494184 2009-06-29 US		
其他公开文献	CN101933814A		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a> <a href="#">SIPO</a>		

#### 摘要(译)

在对接收到的超声信号样本应用波束形成器以形成由波束形成样本的阵列代表的一个或多个波束的超声成像系统中，一种方法和装置独立于其他阵列而压缩波束形成样本的每个阵列以形成压缩的波束。多个模拟到数字转换器采样由换能器阵列所产生的多个模拟超声信号以将多个超声信号样本流提供给波束形成器。压缩的波束经由数字接口传输至信号处理器。在信号处理器处，对压缩的波束进行解压缩以形成解压缩的波束。信号处理器进一步处理解压缩的波束用于供诊断成像(比如B-模式和多普勒成像)以及扫描转换，以准备生成的用以显示的超声图像。此摘要不限定如权利要求中所描述的本发明的范围。

